

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/006693

International filing date: 30 March 2005 (30.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-101547
Filing date: 30 March 2004 (30.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 02 June 2005 (02.06.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2004年 3月30日

出願番号
Application Number: 特願2004-101547

パリ条約による外国への出願に用いる優先権の主張の基礎となる出願の国コードと出願番号
The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is

出願人
Applicant(s): トヨタ自動車株式会社

2005年 5月20日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 PA03-339
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 F02B 11/00
F02B 17/00
F02D 13/02

【発明者】
【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
【氏名】 金慶午

【発明者】
【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
【氏名】 小林辰夫

【発明者】
【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
【氏名】 久保田正人

【発明者】
【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
【氏名】 野口泰

【特許出願人】
【識別番号】 000003207
【氏名又は名称】 トヨタ自動車株式会社

【代理人】
【識別番号】 110000213
【氏名又は名称】 特許業務法人プロスペック特許事務所
【代表者】 大庭咲夫

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 008268
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段を備え、少なくとも一部の所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを同燃焼室に形成し、同混合ガスを圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転が可能な内燃機関に適用される内燃機関の制御装置であって、

前記混合ガスの圧縮行程中に生じる前記燃料の分解開始時点での同混合ガスの温度の不均一性が、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより生ずる温度の不均一性より大きくなるように、同圧縮行程中であって同燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において同混合ガスの温度の不均一性を増大させるように同混合ガスに作用する温度不均一性追加手段を備えた内燃機関の制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記温度不均一性追加手段は、

前記所定の時期に高圧流体を前記混合ガスに向けて噴射することにより同混合ガスの温度の不均一性を増大させるように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記温度不均一性追加手段は、

前記内燃機関の運転状態が前記自着火運転領域内であって同内燃機関の負荷が所定高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧流体を噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 4】

請求項 2 又は請求項 3 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記温度不均一性追加手段が前記高圧流体を噴射する前記所定の時期は、前記圧縮行程の開始後に前記混合ガスの温度の不均一性が最も小さくなる時点から前記燃料の分解開始時点よりも所定のクランク角度だけ前の時点までの間に設定された内燃機関の制御装置。

【請求項 5】

請求項 2 乃至請求項 4 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記温度不均一性追加手段は、

前記高圧流体を前記シリンダのボアの接線方向に沿って噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 6】

請求項 2 乃至請求項 5 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧流体は高圧空気である内燃機関の制御装置。

【請求項 7】

請求項 2 乃至請求項 5 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧流体は高圧水素又は高圧一酸化炭素である内燃機関の制御装置。

【請求項 8】

請求項 2 乃至請求項 5 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧流体は前記燃焼室から排出された燃焼ガスを圧縮した高圧燃焼ガスである内燃機関の制御装置。

【請求項 9】

請求項 2 乃至請求項 5 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧流体は高圧水である内燃機関の制御装置。

【請求項 10】

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段と、

前記燃焼室内に臨む火花点火手段と、

前記燃焼室内に高圧水を噴射する高圧水噴射手段と、

を備えてなり、

膨張行程、排気行程、掃気行程、給気行程及び圧縮行程をクランク角度が360度経過する毎に繰り返す2サイクル内燃機関であって、

所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転モードと、前記自着火運転領域以外の運転領域である火花点火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程にて圧縮した後に前記火花点火手段によって火花点火させて燃焼させる火花点火運転モードと、の何れかのモードにて運転される内燃機関に適用される内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるとき、前記圧縮行程中であって前記混合ガス中の燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において前記高圧水噴射手段から前記高圧水を噴射し、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにあるとき、前記掃気行程中、前記給気行程中及び同掃気行程から同給気行程に及ぶ期間中の何れかの時期において前記高圧水噴射手段から前記高圧水を噴射する高圧水噴射制御手段を備えた内燃機関の制御装置。

【請求項11】

請求項10に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧水噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第1の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧水を噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項12】

請求項10又は請求項11に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧水噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第2の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧水を噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項13】

請求項2乃至請求項5の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧流体は前記燃料よりも自着火し難いアルコールを含む高圧液体燃料である内燃機関の制御装置。

【請求項14】

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段と、

前記燃焼室内に臨む火花点火手段と、

前記燃焼室内に前記燃料よりも自着火し難いアルコールを含む高圧液体燃料を噴射する高圧液体燃料噴射手段と、

を備えてなり、

膨張行程、排気行程、掃気行程、給気行程及び圧縮行程をクランク角度が360度経過する毎に繰り返す2サイクル内燃機関であって、

所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転モードと、前記自着火運転領域以外の運転領域である火花点火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程にて圧縮した後に前記火花点火手段によって火花点火させて燃焼させる火花点火運転モードと、の何れかのモードにて運転される内燃機関に適用される内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるとき、前記圧縮行程中であって前記混合ガス中の燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において前記高圧液体燃料噴射手段から前記高圧液体燃料を噴射し、前記内燃機関の運転モードが火花点火運転モードにあるとき、前記掃気行程中、前記給気行程中及び同掃気行程から同給気行程に及ぶ期間中の何れかの時期において前記高圧液体燃料噴射手段から前記高圧液体燃料

を噴射する高圧液体燃料噴射制御手段を備えた内燃機関の制御装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧液体燃料噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第 1 の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧液体燃料を噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 4 又は請求項 1 5 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧水噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第 2 の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧液体燃料を噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 1 7】

請求項 2 乃至請求項 5 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧流体は前記燃料を部分酸化することにより得られる一酸化炭素及び水素を含む合成ガスである内燃機関の制御装置。

【請求項 1 8】

請求項 2 乃至請求項 4 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記温度不均一性追加手段は、前記燃料を前記高圧流体として前記燃料噴射手段から噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 1 9】

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段と、

前記燃焼室内に臨む火花点火手段と、

前記燃焼室内に高圧流体を噴射する高圧流体噴射手段と、

を備えるとともに、

所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転モードと、前記自着火運転領域以外の運転領域である火花点火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程にて圧縮した後に前記火花点火手段によって火花点火させて燃焼させる火花点火運転モードとの何れかのモードにて運転される内燃機関に適用される内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるときと前記火花点火運転モードにあるときとにおいて、クランク角が互いに異なる所定のクランク角となつたとき、前記高圧流体噴射手段から前記高圧流体を噴射する高圧流体噴射制御手段を備えた内燃機関の制御装置。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧流体噴射手段は、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第 1 の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧流体を噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 2 1】

請求項 1 9 又は請求項 2 0 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧流体噴射手段は、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第 2 の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧流体を噴射するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 2 2】

請求項 1 9 乃至請求項 2 1 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記高圧流体は、空気、水素、一酸化炭素、前記燃焼室から排出された燃焼ガスを圧縮した燃焼ガス、水、アルコールを含む液体燃料、前記燃料を部分酸化することにより得られる一酸化炭素と水素とを含む合成ガス及び前記燃料のうちの何れか一つを含む流体であ

る内燃機関の制御装置。

【請求項 2 3】

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段を備えるとともに、所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転が可能な内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関の負荷が高負荷閾値以上の高負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の一部を前記圧縮行程の開始前に噴射するとともに、同要求される燃料量の残りの燃料を前記圧縮行程中であって前記噴射された燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において同燃料噴射手段から噴射し、

前記内燃機関の負荷が前記高負荷閾値より小さい中負荷閾値以上の中負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部を前記圧縮行程前において前記燃料噴射手段から噴射し、

前記内燃機関の負荷が前記中負荷閾値より小さい軽負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部を前記圧縮行程中において前記燃料噴射手段から噴射する燃料噴射制御手段を備えた内燃機関の制御装置。

【請求項 2 4】

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段を備えてなり、

膨張行程、排気行程、掃気行程、給気行程及び圧縮行程をクランク角度が 360 度経過する毎に繰り返す 2 サイクル内燃機関であって、

所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転が可能な内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関の負荷が高負荷閾値以上の高負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の一部を前記掃気行程中、前記給気行程中及び同掃気行程から同給気行程に及ぶ期間中の何れかの時期において前記燃料噴射手段から噴射するとともに、同要求される燃料量の残りの燃料を前記圧縮行程中であって前記噴射された燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において同燃料噴射手段から噴射し、

前記内燃機関の負荷が前記高負荷閾値より小さい中負荷閾値以上の中負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部を前記掃気行程中、前記給気行程中及び同掃気行程から同給気行程に及ぶ期間中の何れかの時期において前記燃料噴射手段から噴射し、

前記内燃機関の負荷が前記中負荷閾値より小さい軽負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部を前記圧縮行程中において前記燃料噴射手段から噴射する燃料噴射制御手段を備えた内燃機関の制御装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】予混合圧縮自着火運転が可能な内燃機関の制御装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、少なくとも空気と燃料とを含む混合ガスを燃焼室に形成し、同混合ガスを圧縮行程にて圧縮することにより自着火（自己着火）させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転が可能な内燃機関に適用される内燃機関の制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、空気と燃料とを含む混合ガスを燃焼室に形成し、その混合ガスを圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火式内燃機関が知られている。予混合圧縮自着火式内燃機関においては、空燃比を極めてリーンな空燃比とし且つ圧縮比を高くすることができる。従って、広い運転領域で予混合圧縮自着火運転をすることができるれば、燃費を改善することができるとともにNO_xを低減することができると考えられている。

【0003】

ところで、自着火による燃焼においては、圧縮された混合ガスは多数の着火点においてほぼ同時に着火され、極めて短時間のうちに燃焼する。このため、特に燃料量が多い高負荷領域において、燃焼室内の圧力（筒内圧力）が急激に上昇し、燃焼音（騒音）が非常に大きくなる。現状、所定の高負荷域で自着火運転を採用できないのは、かかる燃焼音が過度に大きくなってしまうからである。

【0004】

一方、自着火による燃焼を緩慢に進ませることができれば、筒内圧力の上昇率は低下するから、燃焼音を小さくすることができる。このため、従来の予混合圧縮自着火式内燃機関は、圧縮行程前の吸気行程において燃焼室から排出された高温の燃焼ガス（EGRガス）を二つの給気ポートのうちの一つから導入するとともに他の給気ポートから低温の空気を導入することにより、燃焼室内に温度勾配が大きくなる領域（EGRガス層と空気層とが接する領域）を形成し、その領域に燃料を噴射するようになっている。これによれば、温度勾配の大きな領域から温度勾配に従って温度の低い領域へと順次自着火燃焼が進むので、急激な燃焼を抑制できることができると考えられている（例えは、特許文献1を参照。）。

【特許文献1】特開2001-214741（請求項1、段落番号0028乃至0029、段落番号0044乃至0049、図4、図5及び図26（a））

【0005】

しかしながら、種々の検討によれば、圧縮行程の前までに燃焼室内に形成された温度勾配（混合ガスの温度の空間的な不均一性）は、圧縮行程の前半にて減少（実質的に消滅）してしまうことが判明した。従って、上記従来の予混合圧縮自着火式内燃機関においては、圧縮上死点近傍の着火に係る反応が開始する時点で、燃焼室内の混合ガスに十分な温度の不均一性が存在せず、その結果、燃焼を十分に緩慢にすることができないという問題がある。

【発明の開示】

【0006】

本発明の目的は、燃料分解開始時点における混合ガスの温度の不均一性を、圧縮行程での圧縮作用により自然に得られる混合ガスの温度の不均一性よりも大きくすることにより、予混合圧縮自着火による燃焼を緩慢にすることが可能な内燃機関の制御装置を提供することにある。

【0007】

本発明による内燃機関の制御装置は、燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段を備え、少なくとも一部の所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを

同燃焼室に形成し、同混合ガスを圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転が可能な内燃機関に適用される。

【0008】

この内燃機関の制御装置は、前記混合ガスの圧縮行程中に生じる前記燃料の分解開始時点での同混合ガスの温度の不均一性が、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することのみにより生ずる温度の不均一性より大きくなるように、同圧縮行程中であって同燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において同混合ガスの温度の不均一性を増大させるように同混合ガスに作用する温度不均一性追加手段を備える。

【0009】

これによれば、圧縮行程中であって燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において混合ガスの温度の不均一性が増大せしめられる。これにより、着火の直前に生じる燃料の分解開始時点における混合ガスの温度の不均一性が、混合ガスを圧縮行程にて単に圧縮することのみにより自然に生ずる温度の不均一性より大きくなる。一方、燃焼反応速度は、混合ガスの温度の影響を強く受ける。従って、混合ガスの燃焼速度が（高温部と低温部とで）不均一になるので、自着火燃焼が緩慢に行われて燃焼期間が長期化する。その結果、燃焼室内の圧力上昇率が過大になることが防止され、燃焼音が低減される。

【0010】

この場合、温度不均一性追加手段は、前記所定の時期に高圧流体を前記混合ガスに向けて噴射することにより、同混合ガスの温度の不均一性を増大させるように構成されることが好適である。

【0011】

これによれば、高圧の流体をそれよりも低圧の燃焼室の混合ガス内に噴射するので、高圧流体の断熱膨張効果によって同流体の温度は低下する。従って、混合ガスに対し、より効果的に温度不均一性を付与することができる。

【0012】

この場合、前記温度不均一性追加手段は、

前記内燃機関の運転状態が前記自着火運転領域内であって同内燃機関の負荷が所定高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧流体を噴射するように構成されることが好適である。

【0013】

これによれば、高圧流体は燃焼音が大きく或いはノッキングに類似の現象が発生し易い加速時などにのみ噴射される。従って、使用される高圧流体の量を低減したり、流体を加圧するのに必要なエネルギーの消費量を低減することができる。

【0014】

上記制御装置において、前記温度不均一性追加手段が前記高圧流体を噴射する前記所定の時期は、前記圧縮行程の開始後に前記混合ガスの温度の不均一性が最も小さくなる時点から前記燃料分解開始時点よりも所定のクランク角度だけ前の時点までの間（即ち、圧縮行程中期）に設定されることが好適である。

【0015】

圧縮行程の初期においては、燃焼室の乱流によって混合ガスの混合が急激に進行する。従って、圧縮行程初期において広い温度分布を有する混合ガス（温度の不均一性が大きい混合ガス）を形成しても、その広い温度分布は減衰してしまう。従って、圧縮行程初期（圧縮行程開始～混合ガスの温度の不均一性が最も小さくなる時点）において混合ガスに温度の不均一性を追加的に付与しても、その温度の不均一性は燃焼反応が活発化する圧縮行程後期まで残存することができず、燃焼を緩慢化して燃焼期間を長期化することはできない。

【0016】

これに対し、燃料分解開始時点から所定のクランク角度だけ前の時点から開始する圧縮行程後期（特に、燃料分解開始時点以降）においては、燃焼反応は、ガスの混合度合の進行に比較して非常に早く進行する。従って、この時期に温度不均一性を追加的に付与して

も、ガスの混合の進行によって低温の領域に燃料の粒子が存在するようになる前に燃焼反応が進行してしまうので、燃焼を緩慢にすることができない。

【0017】

そこで、上記構成のように、圧縮行程中期に高圧流体を噴射して混合ガスの温度不均一性を大きくすれば、温度不均一性は燃焼の実質的な開始時点（例えば、燃料分解開始時点）まで消滅することなく、且つ、燃焼の実質的な開始時点において低温部に燃料の粒子が適度に混合された状態となる。即ち、圧縮行程中期における高圧流体の噴射により、燃焼の緩慢化をもたらすことができる「有意で大きな温度不均一性」を混合ガスに与えることができる。その結果、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化するので、圧力上昇率が過大になることが防止され、燃焼音が低減される。

【0018】

更に、前記温度不均一性追加手段は、前記高圧流体を前記シリンダのボアの接線方向に沿って噴射するように構成されることが好適である。

【0019】

これによれば、高圧流体がシリンダボアの接線方向に沿って噴射されるので、燃焼室内にスワール流が発生する。従って、混合ガスと混合ガスよりも温度の低いシリンダ壁面との間の伝熱が促進され、混合ガスはシリンダ壁面近傍で冷却される。この結果、混合ガスの温度不均一性をより効果的に形成することができる。

【0020】

前記高圧流体は高圧空気であることが好適である。空気は大気から導入することができる、空気を貯蔵するタンクやポンベが必要ない。従って、高圧流体を高圧空気とすることにより、装置を簡素化することができる。

【0021】

前記高圧流体は高圧水素又は高圧一酸化炭素であることも好適である。水素は、燃料が自着火する前に生成される中間生成物の発生を抑制すると考えられている。また、水素は自着火し難い（自着火性が悪い）が、着火すると燃焼が早く進むという特性を有している。従って、水素と燃料の混合ガスは、水素を含まない混合ガスよりも着火に時間を要する。一方、一酸化炭素は、ガソリンと同程度に自着火し易い（ガソリンと同程度の自着火性を有する）が、着火すると燃焼がガソリンよりも遅く進むという特性を有している。この結果、高圧流体を水素又は一酸化炭素とすれば、混合ガスの温度の不均一性のみでなく、混合ガスに着火及び／又は燃焼を遅らせる水素ガス又は一酸化炭素が混在することによる濃度不均一性により、燃焼期間を効果的に長期化することができる。

【0022】

前記高圧流体は前記燃焼室から排出された燃焼ガスを圧縮した高圧燃焼ガスであることも好適である。燃焼ガス中の酸素濃度は空気中の酸素濃度よりも小さい。従って、混合ガスに対し高圧燃焼ガスを噴射すると、空気を噴射した場合よりも混合ガスの着火に遅れが生じる。更に、燃焼ガスの比熱は空気の比熱よりも大きいから、燃焼ガス濃度が高い部分の混合ガスの温度上昇が遅れる。この結果、混合ガスの温度不均一性のみでなく、混合ガスに着火を遅らせる燃焼ガスが混在することによる濃度不均一性により、燃焼期間を効果的に長期化することができる。

【0023】

前記高圧流体は高圧水であることも好適である。水は、気化熱（潜熱）と比熱が大きいので、混合ガスは噴射された水により部分的に効果的に冷却される。更に、水は非圧縮性流体であるので、空気などの圧縮性流体を圧縮するよりも少ない仕事量で圧縮することができる。従って、高圧水を得るために車両に搭載される圧縮機の仕事量を低減することができる。

【0024】

本発明による制御装置の他の態様は、

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段と、前記燃焼室内に臨む火花点火手段と、

前記燃焼室内に高圧水を噴射する高圧水噴射手段と、
を備えてなり、

膨張行程、排気行程、掃気行程、給気行程及び圧縮行程をクランク角度が360度経過する毎に繰り返す2サイクル内燃機関であって、

所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転モードと、前記自着火運転領域以外の運転領域である火花点火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程にて圧縮した後に前記火花点火手段によって火花点火させて燃焼させる火花点火運転モードと、の何れかのモードにて運転される内燃機関に適用される。

【0025】

この制御装置は、高圧水噴射制御手段を備える。高圧水噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるとき、前記圧縮行程中であって前記混合ガス中の燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において前記高圧水噴射手段から前記高圧水を噴射する。

【0026】

これにより、燃焼の実質的な開始時点において混合気が大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化する。その結果、予混合圧縮自着火運転モードにおける燃焼室内の圧力上昇率が過大になることが防止され、燃焼音が低減される。

【0027】

また、高圧水噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにあるとき、前記掃気行程中、前記給気行程中及び同掃気行程から同給気行程に及ぶ期間中の何れかの時期において前記高圧水噴射手段から前記高圧水を噴射する。

【0028】

これにより、圧縮行程初期の乱流により混合ガス全体が冷却される。この結果、空気の充填効率を向上することができるとともに、ノックングの発生を抑制することができる。

【0029】

この場合、前記高圧水噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第1の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧水を噴射するように構成されることが好適である。

【0030】

これによれば、高圧水は燃焼音が大きく或いはノックングに類似の現象が発生し易い加速時などにのみ噴射される。従って、使用される水の量を低減したり、水を加圧するのに必要なエネルギーの消費量を低減しながら、燃焼音等を抑制することができる。

【0031】

また、前記高圧水噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第2の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧水を噴射するように構成されることが好適である。

【0032】

これによれば、充填効率の増大が必要であり、且つ、ノックングが発生し易い高負荷時にのみ高圧水が噴射されるので、高圧水の消費量を低減することができる。

【0033】

また、前記高圧流体は前記燃料よりも自着火し難いアルコールを含む高圧液体燃料であってもよい。アルコールは化学的に着火を遅らせる作用を有するから、燃焼が緩慢になる。また、アルコールは気化熱（潜熱）と比熱が大きいので、混合ガスは噴射されたアルコールにより部分的に効果的に冷却される。

【0034】

本発明による制御装置の他の態様は、

燃料をシリンダとピストンにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段と、前記燃焼室内に臨む火花点火手段と、前記燃焼室内に前記燃料よりも自着火し難いアルコールを含む高圧液体燃料を噴射する高圧液体燃料噴射手段と、を備えてなり、膨張行程、排気行程、掃気行程、給気行程及び圧縮行程をクランク角度が360度経過する毎に繰り返す2サイクル内燃機関であって、所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転モードと、前記自着火運転領域以外の運転領域である火花点火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程にて圧縮した後に前記火花点火手段によって火花点火させて燃焼させる火花点火運転モードと、の何れかのモードにて運転される内燃機関に適用される。

【0035】

この制御装置は、高圧液体燃料噴射制御手段を備える。高圧液体燃料噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるとき、前記圧縮行程中であって前記混合ガス中の燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において前記高圧液体燃料噴射手段から前記高圧液体燃料を噴射する。

【0036】

これにより、燃焼の実質的な開始時点において混合気が大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化する。その結果、予混合圧縮自着火運転モードにおける燃焼室内の圧力上昇率が過大になることが防止され、燃焼音が低減される。

【0037】

また、高圧液体燃料噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが火花点火運転モードにあるとき、前記掃気行程中、前記給気行程中及び同掃気行程から同給気行程に及ぶ期間中の何れかの時期において前記高圧液体燃料噴射手段から前記高圧液体燃料を噴射する。

【0038】

これにより、圧縮行程初期の乱流により混合ガス全体が冷却される。この結果、空気の充填効率を向上することができるとともに、ノッキングの発生を抑制することができる。

【0039】

前記高圧液体燃料噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第1の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧液体燃料を噴射するように構成されることが好適である。

【0040】

これによれば、高圧液体燃料は燃焼音が大きく或いはノッキングに類似の現象が発生し易い加速時などにのみ噴射される。従って、使用される液体燃料の量を低減したり、液体燃料を加圧するのに必要なエネルギーの消費量を低減しながら、燃焼音等を抑制することができる。

【0041】

また、前記高圧液体燃料噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第2の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧液体燃料を噴射するように構成されることが好適である。

【0042】

これによれば、充填効率の増大が必要であり、且つ、ノッキングが発生し易い高負荷時にのみ高圧液体燃料が噴射されるので、高圧液体燃料の消費量を低減することができる。

【0043】

また、前記高圧流体は前記燃料を部分酸化することにより得られる一酸化炭素及び水素を含む合成ガスであることが好適である。

【0044】

水素は自着火し難い（自着火性が悪い）が、着火すると燃焼が早く進むという特性を有している。一酸化炭素は、ガソリンと同程度に自着火し易い（ガソリンと同程度の自着火性を有する）が、着火すると燃焼が遅く進むという特性を有している。従って、合成ガスと燃料の混合ガスは、合成ガスを含まない混合ガスよりも着火及び／又は燃焼に時間を要する。この結果、高圧流体を合成ガスとすれば、混合ガスの温度の不均一性のみでなく、混合ガスに着火を遅らせる水素ガス又は一酸化炭素が混在することによる濃度不均一性により、燃焼期間を効果的に長期化することができる。

【0045】

更に、前記温度不均一性追加手段は、前記燃料を前記高圧流体として前記燃料噴射手段から噴射するように構成されることが好適である。

【0046】

これによれば、混合ガスは、追加的に噴射された燃料の大きな気化熱（潜熱）と比熱により部分的に効果的に冷却される。

【0047】

本発明による制御装置の他の態様は、

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段と、

前記燃焼室内に臨む火花点火手段と、

前記燃焼室内に高圧流体を噴射する高圧流体噴射手段と、

を備えるとともに、

所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転モードと、前記自着火運転領域以外の運転領域である火花点火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程にて圧縮した後に前記火花点火手段によって火花点火させて燃焼させる火花点火運転モードと、の何れかのモードにて運転される内燃機関に適用される内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるときと前記火花点火運転モードにあるときにおいて、クランク角が互いに異なる所定のクランク角となつたとき、前記高圧流体噴射手段から前記高圧流体を噴射する高圧流体噴射制御手段を備えた内燃機関の制御装置である。

【0048】

この高圧流体は、空気、水素、一酸化炭素、前記燃焼室から排出された燃焼ガスを圧縮した燃焼ガス、水、アルコールを含む液体燃料、前記燃料を部分酸化することにより得られる一酸化炭素と水素とを含む合成ガス及び前記燃料のうちの何れか一つを含む流体であってよい。

【0049】

これによれば、前記予混合圧縮自着火運転モードにあるときと前記火花点火運転モードにあるときにおいて、互いに異なるタイミングにて高圧流体が噴射される。例えば、内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるとき、圧縮行程中であって前記混合ガス中の燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において前記高圧流体が噴射せしめられる。これにより、燃焼の実質的な開始時点において混合気が大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化する。その結果、予混合圧縮自着火運転モードにおける燃焼室内の圧力上昇率が過大になることが防止され、燃焼音が低減される。

【0050】

また、例えば、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにあるとき、圧縮行程前の所定の時期において前記流体が噴射される。これにより、混合ガス全体が冷却される。この結果、空気の充填効率を向上することができるとともに、火花点火運転時のノッキングの発生を抑制することができる。

【0051】

このように、本態様の制御装置によれば、高圧流体噴射手段を有効に活用し、運転モードに適したタイミングにて高圧流体を噴射する。従って、内燃機関の燃費を改善したり、騒音等を低減することが可能となる。

【0052】

この場合、前記高圧流体噴射手段は、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第1の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧流体を噴射するように構成されることが望ましい。

【0053】

これによれば、高圧流体は燃焼音が大きく或いはノッキングに類似の現象が発生し易い加速時などにのみ噴射される。従って、使用される高圧流体の量を低減したり、流体を加圧して高圧流体とするのに必要なエネルギーの消費量を低減しながら、燃焼音等を抑制することができる。

【0054】

更に、この場合、前記高圧水噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第2の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧流体を噴射するように構成されることが好適である。

【0055】

これによれば、充填効率の増大が必要であり、且つ、ノッキングが発生し易い高負荷時にのみ高圧流体が噴射されるので、高圧流体の消費量を低減することができる。

【0056】

本発明による制御装置の他の態様は、

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段を備えるとともに、所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転が可能な内燃機関に適用される内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関の負荷が高負荷閾値以上の高負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の一部を前記圧縮行程の開始前に噴射するとともに、同要求される燃料量の残りの燃料を前記圧縮行程中であって前記噴射された燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において同燃料噴射手段から噴射し、

前記内燃機関の負荷が前記高負荷閾値より小さい中負荷閾値以上の中負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部を前記圧縮行程前において前記燃料噴射手段から噴射し、

前記内燃機関の負荷が前記中負荷閾値より小さい軽負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部を前記圧縮行程中において前記燃料噴射手段から噴射する燃料噴射制御手段を備えた内燃機関の制御装置である。

【0057】

これによれば、前記内燃機関の負荷が高負荷閾値以上の高負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の一部が前記圧縮行程の開始前に噴射される。更に、前記要求される燃料量の残りの燃料が前記圧縮行程中であって前記噴射された燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において同燃料噴射手段から噴射される。従って、圧縮行程開始前において噴射により形成された均質混合ガスは、圧縮行程中であって前記噴射された燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において追加的に噴射された燃料の大きな気化熱（潜熱）と比熱とにより部分的に冷却される。

【0058】

この結果、燃焼の実質的な開始時点において混合気が大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化する。従って、予混合圧縮自着火運転モードにおける燃焼室内の圧力上昇率が過大になることが防止され、燃焼音が低減される。

【0059】

また、前記内燃機関の負荷が前記高負荷閾値より小さい中負荷閾値以上の中負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部が前記圧縮行程前において前記燃料噴射手段から噴射される。これによれば、均質混合ガスが得られるので、安定した自着火燃焼を得ることができる。

【0060】

更に、前記内燃機関の負荷が前記中負荷閾値より小さい軽負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部が前記圧縮行程中において前記燃料噴射手段から噴射される。これによれば、弱成層混合ガスが得られるので、少ない燃料でも安定した自着火燃焼を得ることができる。

【0061】

さらに、この態様の制御装置は、既存の燃料噴射手段から追加的な燃料噴射を行うことにより混合ガスに温度不均一性を追加しているので、燃料以外の流体を必要としない。また、燃料以外の流体を噴射するための噴射弁等は不要である。従って、システム全体を簡素化でき、軽量化及びコストダウンを図ることができる。

【0062】

本発明による制御装置の他の態様は、

燃料をシリンダとピストンとにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段を備えてなり、

膨張行程、排気行程、掃気行程、給気行程及び圧縮行程をクランク角度が360度経過する毎に繰り返す2サイクル内燃機関であって、

所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転が可能な内燃機関に適用される内燃機関に適用される。この制御装置は、燃料噴射制御手段を備える。

【0063】

燃料噴射制御手段は、前記内燃機関の負荷が高負荷閾値以上の高負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の一部を前記掃気行程中、前記給気行程中及び同掃気行程から同給気行程に及ぶ期間中の何れかの時期において前記燃料噴射手段から噴射するとともに、同要求される燃料量の残りの燃料を前記圧縮行程中であって前記噴射された燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において同燃料噴射手段から噴射する。

【0064】

これによれば、掃気行程中、給気行程中及び掃気行程から給気行程に及ぶ期間中の何れかの時期において噴射により形成された均質混合ガスは、圧縮行程中であって前記噴射された燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において追加的に噴射された燃料の大きな気化熱（潜熱）と比熱とにより部分的に冷却される。

【0065】

これにより、燃焼の実質的な開始時点において混合気が大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化する。その結果、予混合圧縮自着火運転モードにおける燃焼室内の圧力上昇率が過大になることが防止され、燃焼音が低減される。

【0066】

また、燃料噴射制御手段は、前記内燃機関の負荷が前記高負荷閾値より小さい中負荷閾値以上の中負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部を前記掃気行程中、前記給気行程中及び同掃気行程から同給気行程に及ぶ期間中の何れかの時期において前記燃料噴射手段から噴射する。

【0067】

これによれば、均質混合ガスが得られるので、安定した自着火燃焼を得ることができる。

【0068】

更に、燃料噴射制御手段は、前記内燃機関の負荷が前記中負荷閾値より小さい軽負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部を前記圧縮行程中において前記燃料噴射手段から噴射する。

【0069】

これによれば、弱成層混合ガスが得られるので、少ない燃料でも安定した自着火燃焼を得ることができる。

【0070】

さらに、この態様の制御装置は、既存の燃料噴射手段から追加的な燃料噴射を行うことにより混合ガスに温度不均一性を追加しているので、燃料以外の流体を必要としない。また、燃料以外の流体を噴射するための噴射弁等は不要である。従って、システム全体を簡素化でき、軽量化及びコストダウンを図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0071】

以下、本発明による内燃機関の制御装置の各実施形態について説明する。各実施形態の制御装置は、予混合圧縮自着火が可能な内燃機関（予混合圧縮自着火式内燃機関）に適用され、燃焼室内に形成される混合ガスの温度の不均一性（混合ガスの空間的な温度分布の広狭）を適切に制御することにより自着火による燃焼を緩慢にする装置である。そこで、先ず、燃焼室内の混合ガスの温度の不均一性が自着火による燃焼に及ぼす影響について述べる。

【0072】

図1は、クランク角度に対する燃焼室内の混合ガスの圧力（以下、「筒内圧力」とも言う。）の変化を、燃料分解開始時期（燃料の濃度が初期値の90%になった時点、燃料の10%が分解された時点） θ_1 における混合ガスの温度分布別にシミュレーションにより求めた結果である。図1の実線、破線及び一点鎖線により示された筒内圧力は、図2の実線、破線及び一点鎖線により示された温度分布にそれぞれ対応した筒内圧力である。図2の実線、破線及び一点鎖線により示された温度分布は、標準偏差がそれぞれ $\sigma_1 = 0.6$ K（温度の不均一性が小）、 $\sigma_2 = 6.4$ K（温度の不均一性が中）及び $\sigma_3 = 20.7$ K（温度の不均一性が大）である温度分布である。

【0073】

図1の実線により示されたように、燃料分解開始時点（燃料分解開始時期） θ_1 における温度の不均一性が小さいと筒内圧力は極めて急激に上昇し、燃焼は短期間に終了する。これに対し、図1の破線及び一点鎖線により示されたように、燃料分解開始時点 θ_1 における温度の不均一性が大きくなるほど筒内圧力の上昇率は低下し、燃焼が緩慢になっている。このことから、燃料分解開始時点 θ_1 における燃焼室内の混合ガスの温度を不均一にすることができるれば自着火による燃焼を緩慢化できることが理解される。

【0074】

ところで、着火時期を大きく変化させることなく燃焼を緩慢にするためには、混合ガス全体が一律の燃焼反応速度で燃焼するのではなく、混合ガスが部分ごとに異なる燃焼反応速度で燃焼すれば良い。

【0075】

一方、燃焼反応速度は、下記（1）式の特性式に示されるように、混合ガス（混合気）の燃焼反応に係る成分（即ち、燃料及び酸化剤であり、以下、単に「燃焼反応成分」と言う。）の濃度と混合ガスの温度とに依存することが知られている。

$$\text{燃焼反応速度} = K \cdot (\text{燃料濃度})^a \cdot (\text{酸化剤濃度})^b \cdot \exp(-E_a/RT) \quad \dots (1)$$

（1）式において、K、a、bは定数、 E_a は混合ガス（混合気）の活性化エネルギー、Rは気体定数、Tは混合ガス（混合気）の温度である。

【0076】

以上のことから、混合ガスを部分ごとに異なる燃焼反応速度で燃焼させて燃焼を緩慢にするためには、混合ガスの温度及び燃焼反応成分の濃度を不均一にすればよいと考えられ

る。また、上記(1)式から、燃焼反応速度は、燃焼反応成分の濃度の累乗に比例して変化するのに対し、混合ガスの温度に関して指数関数的に変化すると言うことができる。従って、燃焼は、燃焼反応成分の濃度に比較して混合ガスの温度に対し、より敏感に変化することができる。

【0077】

実際の内燃機関においては、燃焼室内に乱流（給気の流れによる乱れ等）が発生しているから、物質及び熱について種々の伝達現象が生じている。この伝達現象により、燃焼反応成分の濃度分布及び混合ガスの温度分布は変化する。そこで、燃焼反応成分の濃度分布及び混合ガスの温度分布が圧縮行程中にどのように変化するかをシミュレーションにより調べ、その結果を図3及び図4にそれぞれ示した。

【0078】

図3に示した燃焼反応成分の濃度分布の変化から理解されるように、濃度の不均一性は、圧縮行程の開始時点においては大きいが、圧縮行程初期の強い乱流により圧縮行程の後期までに実質的に消滅してしまう。

【0079】

これに対し、図4に示した温度分布の変化から理解されるように、温度の不均一性は、圧縮行程初期から圧縮行程中期までは小さくなるが、圧縮行程中期から圧縮行程後期にかけて再び大きくなる。これは、シリンダ壁面（燃焼室壁面）と混合ガスとの間の熱の伝達（伝熱）によりもたらされると考えられる。

【0080】

なお、本明細書において、圧縮行程の初期は、給気弁閉弁時点から混合ガスの温度が最も均一化される時点までの期間として定義される。圧縮行程の中期は、圧縮行程初期の終了時点から燃料分解開始時点 θ_1 より所定クランク角度 θ_y （例えば、20～30度のクランク角度）前の時点までの期間として定義される。圧縮行程の後期は、圧縮行程中期の終了時点から着火時期までの期間として定義される。着火時期は、便宜上、最大発生熱量の5%の熱量が発生したときと定義される。

【0081】

以上を要約すると、燃焼反応成分の濃度分布を圧縮行程開始時から圧縮行程後期まで維持することは難しく、且つ、燃焼反応成分の濃度分布の燃焼に対する影響は相対的に小さいと言うことができる。また、混合ガスの温度分布を圧縮行程後期まで維持することは燃焼反応成分の濃度分布を維持することに比較してそれほど困難でなく、且つ、混合ガスの温度分布の燃焼に対する影響は相対的に大きいと言うことができる。従って、予混合圧縮自着火式内燃機関においては、圧縮行程中に混合ガスの温度分布を形成することが、燃焼を緩慢にして燃焼期間を長期化することに対して効果的であると言えることができる。

【0082】

次に、シリンダの壁温と燃焼期間との関係をシミュレーションにより調べた。上述したように、混合ガスの温度の不均一性はシリンダ壁面と混合ガスとの間の伝熱によってもたらされると考えられるからである。シミュレーション結果を図5に示す。図5から、シリンダ壁温が低いほど温度分布は広くなり（温度の不均一性は大きくなり）、その結果、燃焼期間が長くなっていることが理解される。換言すると、混合ガスとシリンダ壁面との間の熱伝達を大きくすることは、燃焼期間の長期化に有効であると言える。

【0083】

次に、圧縮行程期間中のどのような時期に温度分布を形成することが燃焼を緩慢にすること（燃焼期間の長期化）に対して効果的であるかについて検討した。いま、燃焼室内の乱流に対して燃焼反応が極端に早いとすれば、燃焼は殆ど乱流の影響を受けない。一方、燃焼室内の乱流に対して燃焼反応が極端に遅いとすれば、燃焼は燃焼室内の乱流によるガスの混合現象に大きく依存することになる。

【0084】

図6は、圧縮行程中にガスが混合される度合い（ガスの混合度合）の変化を計算により求めた結果を示している。この計算から、ガスの混合度合は、圧縮行程の開始後（

圧縮行程初期)に直ちに減衰し、圧縮行程中期～圧縮行程後期までの期間においては、殆ど変化しないことが判明した。即ち、乱流による混合ガスの活発な混合は、圧縮行程初期において相対的に非常に強く生じる。

【0085】

図7は、圧縮行程中における燃焼反応速度(化学反応速度)の度合の変化を計算により求めた結果を示している。この計算から、燃焼反応は、圧縮行程の初期から中期までの期間において混合ガスの温度が高くないために殆ど進まず、圧縮行程後期において混合ガスの温度が高くなると一気に進行することが判明した。

【0086】

以上の検討から、次の結論が導き出される。

(1) 圧縮行程初期においては、乱流による混合ガスの混合が急激に進行する。従って、圧縮行程初期において広い温度分布を有する混合ガスが形成されても(混合ガスの温度の不均一性が大きくされても)、その広い温度分布は燃焼反応が活発化する圧縮行程後期まで残存することができない。従って、圧縮行程初期に広い温度分布の混合ガスを形成しても、燃焼を長期化することはできない。

【0087】

(2) 圧縮行程中期においては、混合ガスの混合の進行が緩慢に進む。これに対し、燃焼反応は徐々に活発化する。但し、この燃焼反応は、爆発的な燃焼反応よりは進行が遅い「着火に到るための予反応」である。この予反応は比較的緩慢に進行するから、乱流による混合ガスの混合の影響は予反応により打ち消されてしまうことはなく、後に発生する爆発的な燃焼反応に影響を及ぼすことができる。従って、圧縮行程中期において、混合ガスの温度の不均一性を大きくすれば(混合ガスの空間的な温度分布が広くなるように混合ガスに何らかの作用を施せば)、燃焼を緩慢にすることができる。また、乱流による混合ガスの混合は、混合ガスとシリンダ壁面との間の伝熱を活発化するとともに、シリンダ壁面により冷却された混合ガスを周辺の混合ガスと混合させるから、燃焼を効果的に緩慢化することができる。

【0088】

(3) 圧縮行程後期(特に、燃料分解開始時期以降)においては、燃焼反応は、ガスの混合度合の進行に比較して非常に早く進行する。従って、この時期に温度不均一性を追加的に付与しても、ガスの混合の進行によって低温の領域に燃料の粒子が存在するようになる前に燃焼が開始してしまうので、燃焼を緩慢にすることができる。

【0089】

以上から、圧縮行程中期における混合ガスの流れによる混合を利用して燃料分解開始時期における混合ガスの温度不均一性を大きくすることが、燃焼を緩慢にし、燃焼期間の長期化に効果的であるという結論に到達した。

【0090】

実際、燃料分解開始時期における燃焼室内的混合ガスの温度分布を変化させ、燃焼期間がどのように変化するかを計算により調べ、結果を図8に示した。図8から、燃焼期間は、燃料分解開始時期における燃焼室内的混合ガスの最高温度(筒内最高温度)と最低温度(筒内最低温度)との差に略比例する(例えは、温度差を20Kから40Kへと2倍にしたとき約2倍となる。)ことが理解できる。従って、燃料分解開始時期における混合ガスの温度不均一性を大きくすることが燃焼を変化させるために効果的であるという上記結論の妥当性が確認できた。

【0091】

本発明による内燃機関の制御装置の各実施形態は、上述した検討に基づいてなされたものであり、圧縮行程中期において混合ガスの温度不均一性を大きくするように同混合ガスに何らかの作用(例えは、種々の高圧ガスを噴射する等の作用)を施し、この作用と圧縮行程中期の乱流による混合ガスの混合とを利用して燃料分解開始時期における混合ガスの温度の不均一性を大きくすることにより、燃焼を緩慢化する。

【0092】

次に、本発明による内燃機関の制御装置の各実施形態について図面を参照しつつ説明する。

(第1実施形態)

図9は、本発明の第1実施形態に係る内燃機関の制御装置を2サイクル予混合圧縮自着火式内燃機関に適用したシステムの概略を示している。2サイクル内燃機関とは、クランク角度が360度経過する毎に、膨張行程、排気行程、掃気行程、給気行程及び圧縮行程を繰り返す内燃機関をいう。

【0093】

予混合圧縮自着火式内燃機関10は、シリンダブロック、シリンダブロックロワーケース及びオイルパン等を含むシリンダブロック部20と、シリンダブロック部20の上に固定されるシリンダヘッド部30と、シリンダブロック部20に空気(新気)を供給するための給気系統40と、シリンダブロック部20からの排ガスを外部に放出するための排気系統50とを含んでいる。

【0094】

シリンダブロック部20は、シリンダ21、ピストン22、コンロッド23及びクランク軸24を含んでいる。ピストン22はシリンダ21内を往復動し、ピストン22の往復動がコンロッド23を介してクランク軸24に伝達され、これにより同クランク軸24が回転するようになっている。シリンダ21とピストン22のヘッドは、シリンダヘッド部30とともに燃焼室25を形成している。

【0095】

シリンダヘッド部30は、燃焼室25に連通した給気ポート31、給気ポート31を開閉する給気弁32、給気弁32を駆動する給気弁駆動機構32a、燃焼室25に連通した排気ポート33、排気ポート33を開閉する排気弁34、排気弁34を駆動する排気弁駆動機構34a、点火プラグ35、点火プラグ35に与える高電圧を発生するイグニッショングループを含むイグナイタ36、燃料(ガソリン燃料)を燃焼室25内に噴射するインジェクタ(ガソリン燃料噴射弁、燃料噴射弁)37及び空気噴射弁38を備えている。給気弁駆動機構32a及び排気弁駆動機構34aは、駆動回路39に接続されていて、駆動回路39からの信号に応答して、給気弁32及び排気弁34をそれぞれ開閉するようになっている。

【0096】

インジェクタ37は、蓄圧室37a、燃料ポンプ37b及び図10に示した燃料タンク37cに順に接続されている。燃料ポンプ37bは駆動信号に応答して燃料タンク37c内の燃料を高圧にしてから蓄圧室37aに供給するようになっている。蓄圧室37aは高圧の燃料を貯蔵するようになっている。これにより、インジェクタ37は、駆動信号に応答して開弁したとき、燃焼室25内に高圧の燃料を噴射するようになっている。なお、これらは燃料噴射手段を構成している。

【0097】

空気噴射弁38は、図10に示したように、空気蓄圧タンク38a、熱交換器38b、空気圧縮機(空気圧縮ポンプ)38c及びエアクリーナ38dに順に接続されている。空気圧縮機38cは、駆動信号に応答してエアクリーナ38dを経由して導入した空気を圧縮し、圧縮した空気を熱交換器38bに供給するようになっている。熱交換器38bは、圧縮された空気を冷却し、冷却した空気を空気蓄圧タンク38aに供給するようになっている。空気蓄圧タンク38aは、冷却された高圧の空気を貯蔵するようになっている。空気噴射弁38は、燃焼室25に臨み、高圧空気をシリンダ21のボア(シリンダボア)の接線方向に噴射するように配設されている。以上の構成により、空気噴射弁38は、駆動信号に基づいて開弁したとき、シリンダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に高圧且つ低温の空気を噴射するようになっている。なお、これらは高圧流体噴射手段としての空気噴射手段を構成している。

【0098】

再び図9を参照すると、給気系統40は、給気ポート31に連通し同給気ポート31と

ともに給気通路を形成するインテークマニホールド41、インテークマニホールド41に連通したサージタンク42、サージタンク42に一端が接続された給気ダクト43、給気ダクト43の他端部から下流（インテークマニホールド41）に向けて順に給気ダクト43に配設されたエアフィルタ44、ターボチャージャ91のコンプレッサ91a、バイパス流量調整弁45、インタークーラ46及びスロットルバルブ47を備えている。

【0099】

給気系統40は、更に、バイパス通路48を備えている。バイパス通路48の一端はバイパス流量調整弁45と接続され、他端はインタークーラ46とスロットルバルブ47の間の位置にて給気ダクト43に接続されている。バイパス流量調整弁45は、駆動信号に応答して図示しないバルブ開度を変更することにより、インタークーラ46へ流入する空気量とインタークーラ46をバイパスする空気量（バイパス通路48へ流入する空気量）とを調整できるようになっている。

【0100】

インタークーラ46は水冷式であって、給気ダクト43を通過する空気を冷却するようになっている。インタークーラ46は、インタークーラ46内の冷却水の熱を大気中に放出するラジエタ46aと、インタークーラ46とラジエタ46aの間で冷却水を循環する循環ポンプ46bとに接続されている。

【0101】

スロットルバルブ47は給気ダクト43内において同給気ダクト43に回動可能に支持されている。スロットルバルブ47は、スロットルバルブ駆動手段を構成するスロットルバルブアクチュエータ47aと接続されている。スロットルバルブ47は、スロットルバルブアクチュエータ47aにより回転駆動され、給気ダクト43の開口断面積を変更するようになっている。

【0102】

排気系統50は、排気ポート33に連通し同排気ポート33とともに排気通路を形成するエキゾーストマニホールドを含む排気管51、排気管51内に配設されたターボチャージャ91のタービン91b、タービン91bをバイパスするように両端がタービン91bの上流及び下流において排気管51に連通されたウェストゲート通路52、ウェストゲート通路52に配設された過給圧調整弁52a及びタービン91bの下流の排気管51に配設された三元触媒装置53を備えている。

【0103】

このような配置により、ターボチャージャ91のタービン91bは排ガスのエネルギーにより回転し、これにより給気系統40のコンプレッサ91aが回転して空気を圧縮する。これにより、ターボチャージャ91は、内燃機関10に空気を過給するようになっている。過給圧調整弁52aは、駆動信号に応答してタービン91bへ流入する排ガス量を調整し、これにより、給気通路41内の圧力（過給圧）を調整するようになっている。なお、過給圧は内燃機関10の負荷（例えば、アクセルペダル操作量Accp）とエンジン回転速度NEとにより定まる目標過給圧と一致するように、過給圧調整弁52aなどにより制御されるようになっている。

【0104】

一方、このシステムは、エアフローメータ61、クランクポジションセンサ62、筒内圧センサ63及びアクセル開度センサ64を備えている。エアフローメータ61は吸入された空気量Gaを表す信号を出力するようになっている。クランクポジションセンサ62は、クランク軸24が一定微少角度だけ回転する毎に幅狭のパルスを有するとともに同クランク軸24が360°回転する毎に幅広のパルスを有する信号を出力するようになっている。この信号は、エンジン回転速度NE及びクランク角度CAを表す。筒内圧センサ63は、燃焼室25内の圧力（筒内圧）Paを表す信号を出力するようになっている。アクセル開度センサ64は、運転者によって操作されるアクセルペダル65の操作量Accpを表す信号を出力するようになっている。

【0105】

電気制御装置70は、互いにバスで接続されたCPU71、CPU71が実行するプログラム、テーブル（ルックアップテーブル、マップ）及び定数等を予め記憶したROM72、CPU71が必要に応じてデータを一時的に格納するRAM73、電源が投入された状態でデータを格納するとともに同格納したデータを電源が遮断されている間も保持するバックアップRAM74並びにADコンバータを含むインターフェース75等からなるマイクロコンピュータである。

【0106】

インターフェース75は、前記センサ61～64と接続され、CPU71にセンサ61～64からの信号を供給するようになっている。インターフェース75は、イグナイタ36、インジェクタ37、燃料ポンプ37b、空気噴射弁38、空気圧縮機38c、駆動回路39、バイパス流量調整弁45、スロットルバルブアクチュエータ47a及び過給圧調整弁52aと接続されていて、CPU71の指示に応じてこれらに駆動信号を送出するようになっている。

【0107】

次に、上記のように構成された内燃機関の制御装置の作動について説明する。電気制御装置70のCPU71は、図11にフローチャートにより示した運転領域判定ルーチンを所定時間の経過毎に繰り返し実行するようになっている。

【0108】

従って、所定のタイミングになると、CPU71はステップ1100から処理を開始してステップ1105に進み、現時点の負荷（この例では、アクセルペダル操作量Accp）及び現時点のエンジン回転速度NEと、図12に示した領域判定マップとに基づいて、内燃機関の運転状態が2サイクル自着火領域R1（混合ガス温度分布制御なし）にあるか否かを判定する。

【0109】

図12に示したように、自着火領域は、2サイクル自着火領域R1（混合ガス温度分布制御なし）と2サイクル自着火領域R2（混合ガス温度分布制御あり）とからなる。2サイクル自着火領域R1は、2サイクル自着火領域のうちの軽負荷域及び中負荷域である。2サイクル自着火領域R2は、自着火領域のうちの高負荷域である。2サイクル火花点火領域R3は、2サイクル自着火領域よりも高負荷側かつ高回転側の領域である。

【0110】

いま、内燃機関の運転状態が2サイクル自着火領域R1にあると仮定して説明を続ける。この場合、CPU71はステップ1105にて「Yes」と判定し、ステップ1110に進んでフラグXR1の値を「1」に設定するとともにフラグXR2の値を「0」に設定し、ステップ1195に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0111】

一方、CPU71は図13にフローチャートにより示した内燃機関の制御量及び制御時期を決定するルーチンを、クランク角度が上死点（又は、上死点から上死点後90度までの所定のクランク角度）に一致する毎に実行するようになっている。

【0112】

従って、所定のタイミングになると、CPU71はステップ1300から処理を開始してステップ1305に進み、現時点のアクセルペダル操作量Accp及び現時点のエンジン回転速度NEと、アクセルペダル操作量Accp及びエンジン回転速度NEと燃料噴射量TAUとの関係を規定するテーブルMapTAUとに基づいて燃料噴射量TAU（=MapTAU（Accp, NE））を決定する。

【0113】

なお、以下の説明において、MapX(a, b)と標記されるテーブルは、変数a及び変数bと値Xとの関係を規定するテーブルを意味することとする。また、値XをテーブルMapX(a, b)に基づいて求めると、値Xを現時点の変数a及び現時点の変数bと、テーブルMapX(a, b)とに基づいて求める（決定する）ことを意味することとする。

【0114】

次に、CPU71はステップ1310に進んで燃料噴射開始時期 θ_{inj} をテーブルMap $\theta_{inj}(Accp, NE)$ に基づいて求め、ステップ1315に進んで排気弁開弁時期EOをテーブルMapEO(Accp, NE)に基づいて求める。続いて、CPU71はステップステップ1320に進んで給気弁開弁時期IOをテーブルMapIO(Accp, NE)に基づいて求めるとともに、ステップ1325に進んで排気弁閉弁時期ECをテーブルMapEC(Accp, NE)に基づいて求める。

【0115】

次に、CPU71はステップ1330に進んで給気弁閉弁時期ICをテーブルMapIC(Accp, NE)に基づいて求め、続くステップ1335にてフラグXR1の値が「1」であるか否かを判定する。前述したように、現時点では、内燃機関10は2サイクル自着火領域R1で運転されているから、フラグXR1の値は「1」に設定されている。従って、CPU71はステップ1335にて「Yes」と判定し、ステップ1395に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0116】

更に、CPU71は、図14にフローチャートにより示した駆動制御ルーチンを、クランク角度が微少のクランク角度だけ経過する毎に実行するようになっている。従って、所定のタイミングになると、CPU71はステップ1400から本ルーチンの処理を開始してステップ1405に進み、現時点のクランク角度が前述した図13のステップ1315にて決定された排気弁開弁時期EOと一致しているか否かを判定する。そして、現時点のクランク角度が排気弁開弁時期EOと一致していると、CPU71はステップ1405にて「Yes」と判定してステップ1410に進み、駆動回路39に対し排気弁34を開弁するための駆動信号を送出する。これにより、排気弁駆動機構34aが作動し、排気弁34が開弁せしめられる。

【0117】

以降、CPU71はステップ1415～1450の処理に従って、排気弁34を開弁させる場合と同様に各種の駆動信号を適当なタイミングにて発生し、以下に記述する各種の動作を行う。

【0118】

ステップ1415及びステップ1420…クランク角度が図13のステップ1320にて決定された給気弁開弁時期IOとなったとき、給気弁32を開弁するための駆動信号を駆動回路39に対して発生し、給気弁32を給気弁駆動機構32aの作動により開弁する。

ステップ1425及びステップ1430…クランク角度が図13のステップ1310にて決定された燃料噴射開始時期 θ_{inj} となったとき、インジェクタ37を燃料噴射量TAUに応じた時間だけ開弁し、燃料噴射量TAUの燃料を燃焼室25内に噴射する。

【0119】

ステップ1435及びステップ1440…クランク角度が図13のステップ1325にて決定された排気弁閉弁時期ECとなったとき、排気弁34を開弁するための駆動信号を駆動回路39に対して発生し、排気弁34を排気弁駆動機構34aの作動により閉弁する。

ステップ1445及びステップ1450…クランク角度が図13のステップ1330にて決定された給気弁閉弁時期ICとなったとき、給気弁32を開弁するための駆動信号を駆動回路39に対して発生し、給気弁32を給気弁駆動機構32aの作動により閉弁する。

【0120】

次に、CPU71はステップ1455に進み、フラグXR2の値が「1」に設定されているか否かを判定する。この場合、フラグXR2の値は先のステップ1110にて「0」に設定されている。従って、CPU71はステップ1455にて「No」と判定してステップ1470に直接進み、フラグXR1の値及びフラグXR2の値の両者が共に「0」に設定されているか否かを判定する。この場合、フラグXR1の値が「1」に設定されているから、CPU71はステップ1470にて「No」と判定し、ステップ1495に進んで本ルーチン

を一旦終了する。

【0121】

以上により、図15に示したように、排気弁開弁時期E0にて排気弁34が開弁して排気期間（排気行程）が開始し、燃焼室25から排気ポート33へ高温の燃焼ガスが排出され始める。次いで、給気弁開弁時期I0にて給気弁32が開弁して掃気期間（掃気行程）が開始する。掃気期間では、給気ポート31から燃焼室25へ低温の空気（新気）が導入され、また、この空気の導入により、燃焼室25から排気ポート33へ高温の燃焼ガスが排出される。

【0122】

そして、下死点付近の適切な燃料噴射開始時期 θ_{inj} にて燃料噴射が実行され、燃焼室25内に燃焼ガス、空気及び燃料からなる混合ガスが形成され始める。その後、排気弁閉弁時期ECにて排気弁34が閉弁して掃気期間が終了するとともに過給期間（給気行程）が開始し、更に空気が燃焼室25内に供給される。次に、給気弁閉弁時期ICにて給気弁32が閉弁して過給期間が終了するとともに圧縮行程が開始する。その後、クランク角度が上死点（TDC）近傍になると、混合ガスは自着火し膨張行程が開始する。なお、この場合、内燃機関の運転状態は2サイクル自着火領域R1にあるから、後述する高圧空気の噴射及び点火は実行されない。

【0123】

次に、内燃機関の運転状態が2サイクル自着火領域R2（混合ガス温度分布制御あり）に移行したと仮定して説明を続ける。この領域R2は、内燃機関の運転状態が自着火運転領域（領域R1と領域R2を合わせた領域）にあって、内燃機関の負荷が第1の高負荷閾値以上の高負荷であると言うこともできる。

【0124】

この場合、CPU71は図11のステップ1105にて「No」と判定してステップ1115に進み、現時点の負荷及び現時点の回転速度NEと、図12に示した領域判定マップとに基づいて、内燃機関の運転状態が2サイクル自着火領域R2にあるか否かを判定する。そして、CPU71はステップ1115にて「Yes」と判定し、ステップ1120に進んでフラグXR1の値を「0」に設定するとともにフラグXR2の値を「1」に設定し、ステップ1195に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0125】

このとき、CPU71が図13のステップ1300から処理を開始すると、ステップ1305～ステップ1330の処理を実行してステップ1335に進む。そして、CPU71は、ステップ1335にて「No」と判定してステップ1340に進み、フラグXR2の値が「1」であるか否かを判定する。この場合、フラグXR2の値は「1」である。従って、CPU71はステップ1340にて「Yes」と判定してステップ1345に進み、ガス噴射開始時期（この実施形態では、空気噴射開始時期） θ_{add} をテーブルMap $\theta_{add}(Accp, NE)$ に基づいて決定し、その後、ステップ1395に進んで本ルーチンを一旦終了する。テーブルMap $\theta_{add}(Accp, NE)$ は、ガス噴射開始時期 θ_{add} が圧縮行程の中期に存在するよう設定されている。

【0126】

以降、CPU71が図14に示したルーチンを実行すると、同CPU71はステップ1400乃至ステップ1450の処理により上述した排気弁34や給気弁32等の開閉制御等を実行する。また、この場合、フラグXR2の値は「1」に設定されている。従って、CPU71はステップ1455にて「Yes」と判定するようになり、ステップ1460及びステップ1465によってクランク角度が図13に示したステップ1345にて決定したガス噴射開始時期（空気噴射開始時期） θ_{add} となったとき、空気噴射弁38を所定時間だけ開弁する。一方、CPU71は、ステップ1470に進んだとき、同ステップ1470にて「No」と判定し、ステップ1495に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0127】

このように、内燃機関の運転状態が2サイクル自着火領域R2にある場合（フラグXR2

の値が「1」に設定されている場合)、図15に示したように、クランク角度がガス噴射開始時期 θ_{add} となると、低温で高圧の空気がシリンダボアの接線方向に沿って少なくとも圧縮行程中期に噴射される。従って、この時点において、燃焼室25内の比較的高温の混合ガスに低温の高圧空気が噴射されるので、混合ガスの温度の不均一性が増大する。換言すると、混合ガスの温度分布が拡大せしめられるように、噴射された高圧の空気が混合ガスに作用する。

【0128】

前述したように、この時期に形成された温度の不均一性は、圧縮行程後期の燃料分解開始時期(燃料の濃度が初期値の90%になった時点、燃料の10%が分解された時期)まで持続する。この結果、燃料分解開始時期における混合ガスの不均一性は、高圧空気の噴射がなく圧縮行程の圧縮のみによって形成される混合ガスの不均一性よりも大きくなる。従って、自着火及び燃焼が緩慢となり、燃焼期間が増大するので、圧力上昇率が過大とならず、騒音(燃焼音)が小さくなる。

【0129】

次に、内燃機関の運転状態が2サイクル火花点火運転領域R3に移行したと仮定して説明を続ける。この場合、CPU71は図11のステップ1105及びステップ1115にて「No」と判定してステップ1125に進み、フラグXR1及びフラグXR2の値を共に「0」に設定し、ステップ1195に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0130】

このとき、CPU71が図13のステップ1300から処理を開始すると、同CPU71は、ステップ1305～ステップ1330の処理を実行し、続くステップ1335及びステップ1340の両ステップにて「No」と判定してステップ1350に進む。CPU71は、ステップ1350にて、点火時期 θ_{ig} をテーブルMap θ_{ig} (Accp, NE)に基づいて決定し、その後、ステップ1395に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0131】

以降、CPU71が図14に示したルーチンを実行すると、同CPU71はステップ1400乃至ステップ1450の処理により上述した排気弁34や給気弁32等の開閉制御等を実行する。また、この場合、フラグXR1及びフラグXR2の値は「0」に設定されている。従って、CPU71はステップ1455にて「No」と判定して直接ステップ1470に進み、同ステップ1470にて「Yes」と判定するようになる。この結果、ステップ1475及びステップ1480によってクランク角度が点火時期 θ_{ig} となったとき、CPU71はイグナイタ36に駆動信号(点火信号)を送出し、点火プラグ35による混合ガスの火花点火を行う。

【0132】

以上、説明したように、第1実施形態に係る内燃機関の制御装置によれば、圧縮行程中期において低温且つ高圧の空気(高圧流体)が空気噴射弁38から燃焼室25内に噴射される。これにより、遅くとも燃料分解開始時期よりもクランク角度で20～30度早い時点における混合ガスの温度不均一性が大きくなり、且つ、この時点の温度不均一性は燃料分解開始時期まで持続する。また、空気噴射がなされた時点からクランク角度で20～30度だけ時間が経過する間に、空気と混合ガス(燃料)との混合が進む。従って、燃料分解開始時期の混合ガスが、燃焼の緩慢化をもたらす有意で大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化せしめられる。その結果、圧力上昇率が過大になることが防止され、騒音(燃焼音)が低減される。

【0133】

更に、第1実施形態においては、低温の高圧空気がシリンダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に噴射されるので、燃焼室25内にスワール流が発生する。従って、混合ガスと混合ガスよりも温度の低いシリンダ21の壁面との間の伝熱が促進されて、シリンダ21の壁面の熱伝達率が高められる。その結果、混合ガスの温度不均一性をより効果的に形成することができる。

【0134】

加えて、この実施形態は、高圧の空気をそれよりも低圧の燃焼室25内の混合ガス内に噴射するので、高圧空気の断熱膨張効果によって同空気の温度は低下する。従って、混合ガスに対し、より効果的に温度不均一性を付与することができる。

【0135】

一方、このような空気噴射によれば、低温部がシリンダ21の壁面付近において環状に形成される。他方、燃焼室25の中央部に存在する混合ガスの温度は低下しないから、中央部の混合ガスの着火性は空気噴射を行わない場合に比べて大きく変化しない。従って、着火時期を大きく変化させることなく、燃焼期間の長期化だけを容易に達成することができる。

【0136】

(第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態に係る内燃機関の制御装置について説明する。第2実施形態に係る制御装置は、高圧の空気代え、高圧流体としての高圧の水素ガス（又は高圧の一酸化炭素ガス）を燃焼室25内に噴射する点において第1実施形態の制御装置と相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

【0137】

この制御装置は、図16に示したように、空気噴射弁38に代わるガス噴射弁81を備えている。ガス噴射弁81は、ガス蓄圧タンク81a、熱交換器81b、ガス圧縮機（ガスポンプ）81c及びガスタンク81dに順に接続されている。ガス圧縮機81cは、駆動信号に応答してガスタンク81d内の水素ガスを圧縮し、圧縮した水素ガスを熱交換器81bに供給するようになっている。熱交換器81bは、圧縮された水素ガスを冷却し、冷却した水素ガスをガス蓄圧タンク81aに供給するようになっている。ガス蓄圧タンク81aは、冷却された高圧の水素ガスを貯蔵するようになっている。ガス噴射弁81は、燃焼室25に臨み、高圧の水素ガスをシリンダ21のボア（シリンダボア）の接線方向に噴射するように配設されている。

【0138】

以上の構成により、ガス噴射弁81は、駆動信号に基づいて開弁したとき、シリンダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に高圧且つ低温の水素ガスを噴射するようになっている。

【0139】

第2実施形態に係る電気制御装置70は、第1実施形態の電気制御装置70とほぼ同様に作動する。但し、図13のステップ1345において使用されるテーブルMapθadd(Accp, NE)は、水素ガス用に適合されている。

【0140】

このように、第2実施形態に係る内燃機関の制御装置によれば、圧縮行程中期において冷却された水素ガスがガス噴射弁81から燃焼室25内に噴射される。これにより、混合ガス内に水素分子が不均一（斑状）に存在することとなり、この水素分子により遅くとも燃料分解開始時期よりもクランク角度で20～30度だけ早い時点における混合ガスの温度不均一性が大きくなる。

【0141】

この時点の温度不均一性は燃料分解開始時期まで持続する。また、水素ガス噴射がなされた時点からクランク角度で20～30度だけ時間が経過する間に、水素分子と混合ガス（燃料）との混合が進む。これにより、燃料分解開始時期の混合ガスが、燃焼の緩慢化をもたらす有意で大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化せしめられる。その結果、圧力上昇率が過大になることが防止され、騒音（燃焼音）が低減される。

【0142】

更に、第2実施形態においては、低温で高圧の水素ガスがシリンダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に噴射されるので、燃焼室25内にスワール流が発生する。従って、混合ガスと混合ガスよりも温度の低いシリンダ21の壁面との間の伝熱が促進されて、シリ

シングダ21の壁面の熱伝達率が高められる。その結果、温度不均一性をより効果的に形成することができる。

【0143】

また、水素は、ガソリン（燃料）が自着火する際に生成される中間生成物の発生を抑制すると考えられている。従って、水素とガソリンの混合ガスは、水素を含まないガソリン（或いは軽油）の混合ガスよりも着火に時間を要する。従って、第2実施形態によれば、混合ガスの温度の不均一性のみでなく、混合ガスに着火を遅らせる水素ガスが混在することによる濃度不均一性により、燃焼期間を効果的に長期化することができる。

【0144】

加えて、第2実施形態は、高圧の水素ガスをそれよりも低圧の燃焼室25内の混合ガス内に噴射するので、高圧水素ガスの断熱膨張効果によって同水素ガスの温度は低下する。従って、混合ガスに対し、より効果的に温度不均一性を付与することができる。

【0145】

一方、このような水素ガス噴射によれば、低温部がシリングダ21の壁面付近において環状に形成される。他方、燃焼室25の中央部に存在する混合ガスの温度は低下しないから、中央部の混合ガスの着火性は水素ガス噴射を行わない場合に比べて大きく変化しない。従って、着火時期を大きく変化させることなく、燃焼期間の長期化だけを容易に達成することができる。

【0146】

また、第2実施形態においては、水素濃度が高い部分が遅れて燃焼を開始する。一方、水素は一旦着火されれば反応性の高いガスである。この結果、燃焼後期において多量に発生する傾向を有する炭化水素HC及び一酸化炭素COの生成量を減少することができる。

【0147】

なお、第2実施形態では水素H₂を使用しているが、水素ガスに代え一酸化炭素ガスCOを噴射しても、水素ガスを噴射した場合と同様な効果が得られる。但し、水素は自着火し難い（自着火性が悪い）が、着火すると燃焼が早く進むという特性を有している。これに対し、一酸化炭素は、ガソリンと同程度に自着火し易い（ガソリンと同程度の自着火性を有する）が、着火すると燃焼が遅く進むという特性を有している。従って、一酸化炭素を高圧流体として使用した場合、着火時期を遅らせるよりも、燃焼速度を低下させることによる燃焼期間の長期化がもたらされる。

【0148】

（第3実施形態）

次に、本発明の第3実施形態に係る内燃機関の制御装置について説明する。第3実施形態に係る制御装置は、高圧の空気に代えて、燃焼室25から取り出されて圧縮及び冷却がなされた高圧流体としての燃焼ガス（既燃ガス、EGRガス、排ガス）を再度燃焼室25内に噴射する点において第1実施形態の制御装置と相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

【0149】

この制御装置は、図17に示したように、空気噴射弁38に代わるガス噴射弁82を備えている。ガス噴射弁82は、ガス蓄圧タンク82a、熱交換器82b、ガス圧縮機（ガスポンプ）82c及びEGRガス通路82dを経由して排気ポート33に接続されている。ガス圧縮機82cは、駆動信号に応答して排気ポート33から導入した燃焼ガスを圧縮し、圧縮した燃焼ガスを熱交換器82bに供給するようになっている。熱交換器82bは、圧縮された燃焼ガスを冷却し、冷却した燃焼ガスをガス蓄圧タンク82aに供給するようになっている。ガス蓄圧タンク82aは、冷却された高圧の燃焼ガスを貯蔵するようになっている。ガス噴射弁82は、燃焼室25に臨み、高圧の燃焼ガスをシリングダ21のボア（シリングダボア）の接線方向に噴射するように配設されている。

【0150】

以上の構成により、ガス噴射弁82は、駆動信号に基づいて開弁したとき、シリングダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に高圧且つ低温の燃焼ガスを噴射するようになってい

る。

【0151】

第3実施形態に係る電気制御装置70は、第1実施形態の電気制御装置70と同様に作動する。但し、図13のステップ1345において使用されるテーブルMapθ add(Accp, NE)は、燃焼ガス用に変更されている。

【0152】

この第3実施形態に係る内燃機関の制御装置によれば、圧縮行程中期において排気ポート33(排気通路)から取り出され、加圧・冷却された高圧で低温の燃焼ガスがガス噴射弁82から燃焼室25内に噴射される。これにより、遅くとも燃料分解開始時期よりもクランク角度で20～30度だけ早い時点における混合ガスの温度不均一性が大きくなり、且つ、この時点の温度不均一性は燃料分解開始時期まで持続する。

【0153】

また、燃焼ガスの噴射がなされた時点からクランク角度で20～30度だけ時間が経過する間に、燃焼ガスの分子と混合ガス(燃料)との混合が進む。従って、燃料分解開始時期の混合ガスが、燃焼の緩慢化をもたらす有意で大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化せしめられる。その結果、圧力上昇率が過大になることが防止され、騒音(燃焼音)が低減される。

【0154】

更に、第3実施形態においては、低温で高圧の燃焼ガスがシリンダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に噴射されるので、燃焼室25内にスワール流が発生する。従って、混合ガスと混合ガスよりも温度の低いシリンダ21壁面との間の伝熱が促進されて、シリンダ21の壁面の熱伝達率が高められる。その結果、温度不均一性をより効果的に形成することができる。

【0155】

また、燃焼ガス中の酸素濃度は空気中の酸素濃度よりも小さい。従って、第3実施形態のように燃焼ガスを噴射すると、空気を噴射した場合よりも着火に遅れが生じる。更に、燃焼ガスの比熱は空気の比熱よりも大きい。従って、第3実施形態のように低温の燃焼ガスを噴射すると、低温の燃焼ガス濃度が高い部分の混合ガスの温度上昇が遅れるから、同部分の混合ガスは他の部分の混合ガスよりも遅れて着火する。従って、混合ガスの温度不均一性のみでなく、混合ガスに着火を遅らせる燃焼ガスが混在することによる濃度不均一性により、燃焼期間を効果的に長期化することができる。

【0156】

加えて、第3実施形態は、高圧の燃焼ガスをそれよりも低圧の燃焼室25内の混合ガス内に噴射するので、燃焼ガスの断熱膨張効果によって同燃焼ガスの温度は低下する。従って、混合ガスに対し、より効果的に温度不均一性を付与することができる。

【0157】

一方、このような燃焼ガス噴射によれば、低温部がシリンダ21の壁面付近において環状に形成される。他方、燃焼室25の中央部に存在する混合ガスの温度は低下しないから、中央部の混合ガスの着火性は燃焼ガスの噴射を行わない場合に比べて大きく変化しない。従って、着火時期を大きく変化させることなく、燃焼期間の長期化だけを容易に達成することができる。

【0158】

更に、第3実施形態は燃焼ガスを燃焼室25内に噴射するようにしているので、新たに燃焼室25内に噴射するためのガスを必要としない。従って、噴射されるガスを貯蔵するタンク等が不要であるから、装置全体を簡素化することができる。

【0159】

(第4実施形態)

次に、本発明の第4実施形態に係る内燃機関の制御装置について説明する。第4実施形態に係る制御装置は、内燃機関の運転状態が2サイクル自着火領域R2にあるときに高圧の空気に代えて高圧流体としての高圧水を噴射する点、及び、内燃機関の運転状態が2サ

イクル火花点火運転領域R3の高負荷側領域にあるときにも高圧水を噴射する点において第1実施形態の制御装置と相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

【0160】

この制御装置は、図18に示したように、空気噴射弁38に代わる水噴射弁83を備えている。水噴射弁83は、蓄圧タンク83a、水ポンプ83b及び水タンク83cに順に接続されている。水ポンプ83bは、駆動信号に応答して水タンク83c内の水を圧縮し、圧縮した水を蓄圧タンク83aに供給するようになっている。蓄圧タンク83aは、高圧の水を貯蔵するようになっている。水噴射弁83は、燃焼室25に臨み、高圧の水を燃焼室25の中央部に向けて噴射するように配設されている。

【0161】

以上の構成により、水噴射弁83は、駆動信号に基づいて開弁したとき、高圧の水を燃焼室25の中央部に向けて噴射するようになっている。なお、シリンダ壁面における液膜の形成が問題とならない場合、高圧水をシリンダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に噴射してもよい。

【0162】

第4実施形態に係る電気制御装置70は、第1実施形態の電気制御装置70と同様に作動する。但し、図13のステップ1345において使用されるテーブルMapθadd(Accp, NE)は、高圧水用に変更されている。また、図13のステップ1345、図14のステップ1460及びステップ1465は、高圧水噴射用のステップに置換される。これらのステップは、高圧水噴射制御手段（高圧流体噴射制御手段）の一部を構成している。

【0163】

更に、電気制御装置70は、内燃機関の運転状態が2サイクル火花点火運転領域R3の高負荷側領域にあるとき（内燃機関の負荷が第2の高負荷閾値以上の高負荷であるとき）、高圧水を掃気行程から給気行程の間に噴射するようになっている。即ち、内燃機関が2サイクル火花点火運転領域R3の所定の高負荷以上の高負荷側領域で運転されているとき、CPU71はテーブルMapθaddk(Accp, NE)により水噴射開始時期θaddkを決定し、クランク角度が水噴射開始時期θaddkと一致したとき所定時間だけ水噴射弁83から高圧水を噴射する。かかる機能は、高圧水噴射制御手段（高圧流体噴射制御手段）の機能の一部を構成している。

【0164】

この第4実施形態に係る内燃機関の制御装置によれば、2サイクル自着火領域R2にあるとき（即ち、内燃機関の運転状態が自着火運転領域（領域R1と領域R2を合わせた領域）にあって、内燃機関の負荷が第1の高負荷閾値以上の高負荷であるとき）、高圧水が水噴射弁83から燃焼室25内に噴射される。従って、混合ガスは、噴射された水の大きな気化熱（潜熱）と比熱とにより部分的に冷却される。これにより、遅くとも燃料分解開始時期よりもクランク角度で20～30度だけ早い時点における混合ガスの温度不均一性が大きくなり、且つ、この時点の温度不均一性は燃料分解開始時期まで持続する。

【0165】

また、高圧水の噴射がなされた時点からクランク角度で20～30度だけ時間が経過する間に、水と混合ガス（燃料）との混合が進む。従って、燃料分解開始時期の混合ガスが、燃焼の緩慢化をもたらす有意で大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化せしめられる。その結果、圧力上昇率が過大になることが防止され、騒音（燃焼音）が低減される。

【0166】

更に、第4実施形態においては、内燃機関が2サイクル火花点火運転領域R3の所定の高負荷（第2の高負荷閾値）以上の高負荷側領域で運転されているとき、高圧水を掃気行程から給気行程の間（掃気行程のみ、給気行程のみ、或いは両行程に渡る時期、或いは、圧縮行程開始前まで）に噴射する。これにより、圧縮行程初期の乱流により混合ガス全体が冷却される。この結果、空気の充填効率を向上することができるとともに、ノッキング

の発生を抑制することができる。この機能も、高圧水噴射制御手段（高圧流体噴射制御手段）の機能の一部である。

【0167】

また、水は非圧縮性流体であるから、水ポンプ83bによって容易に圧縮することができる。従って、空気等のガスからなる圧縮性流体を圧縮する場合にくらべ、水ポンプ83bのポンピング仕事が小さいので、結果として、燃費を向上することができる。

【0168】

（第5実施形態）

次に、本発明の第5実施形態に係る内燃機関の制御装置について説明する。第5実施形態に係る制御装置は、第4実施形態において噴射される高圧水に代えて、高圧流体としてのメタノール（メチルアルコール）などのアルコール（又は、アルコールと水との混合物）を含むガソリン燃料より自着火し難い高圧液体燃料を噴射する点において、第4実施形態の制御装置と相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

【0169】

この制御装置は、図19に示したように、水噴射弁83に代わるアルコール噴射弁84を備えている。アルコール噴射弁84は、蓄圧タンク84a、アルコールポンプ84b及びアルコールタンク84cに順に接続されている。アルコールポンプ84bは、駆動信号に応答してアルコールタンク84c内のアルコールを圧縮し、圧縮したアルコールを蓄圧タンク84aに供給するようになっている。蓄圧タンク84aは、高圧のアルコールを貯蔵するようになっている。アルコール噴射弁84は、燃焼室25に臨み、高圧のアルコールを燃焼室25の中央部に向けて噴射するように配設されている。

【0170】

以上の構成により、アルコール噴射弁84は、駆動信号に基づいて開弁したとき、燃焼室25の中央部に向けて高圧のアルコールを噴射するようになっている。なお、シリンダ壁面における液膜の形成が問題とならない場合、アルコールをシリンダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に噴射してもよい。

【0171】

この第5実施形態に係る内燃機関の制御装置によれば、2サイクル自着火領域R2にあるとき、第4実施形態の高圧水噴射制御手段に代わる高圧液体燃料噴射制御手段（高圧流体噴射手段）によって、高圧のアルコールが圧縮行程開始後の所定の時期（圧縮行程中期）にアルコール噴射弁84から燃焼室25内に噴射される。混合ガスは、噴射されたアルコールの大きな気化熱（潜熱）と比熱とにより部分的に冷却される。遅くとも燃料分解開始時期よりもクランク角度で20～30度だけ早い時点における混合ガスの温度不均一性が大きくなり、且つ、この時点の温度不均一性は燃料分解開始時期まで持続する。

【0172】

また、高圧のアルコールの噴射がなされた時点からクランク角度で20～30度だけ時間が経過する間に、アルコールと混合ガス（燃料）との混合が進む。従って、燃料分解開始時期の混合ガスが、燃焼の緩慢化をもたらす有意で大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化せしめられる。その結果、圧力上昇率が過大になることが防止され、騒音（燃焼音）が低減される。

【0173】

更に、アルコールは着火性がガソリンよりも良好でない（自着火し難い）。従って、アルコールとガソリンの混合ガスは、アルコールを含まないガソリン（或いは軽油）の混合ガスよりも着火に時間を要する。従って、第5実施形態によれば、混合ガスの温度の不均一性のみでなく、混合ガスに着火を遅らせるアルコールが混在することによる濃度不均一性により、燃焼期間を効果的に長期化することができる。

【0174】

また、第5実施形態は、高圧液体燃料噴射制御手段により、内燃機関が2サイクル火花点火運転領域R3の所定の高負荷（第2の高負荷閾値）以上の高負荷側領域で運転されているとき、アルコールを掃気行程から給気行程の間（圧縮行程開始前）に噴射する。

これにより、圧縮行程初期の乱流により混合ガス全体が冷却される。この結果、空気の充填効率を向上することができるとともに、ノックングの発生を抑制することができる。なお、噴射するアルコールとして、メタノール以外のアルコールを使用することもできる。更に、アルコールと水との混合液を使用することもできる。

【0175】

(第6実施形態)

次に、本発明の第6実施形態に係る内燃機関の制御装置について説明する。第6実施形態に係る制御装置は、第1実施形態において噴射される空気に代えて、高圧流体として、燃料を燃料改質器により部分酸化(改質)することにより形成される一酸化炭素及び水素を主成分とする合成ガスを噴射する点において、第1実施形態の制御装置と相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

【0176】

この制御装置は、図20に示したように、空気噴射弁38に代わるガス噴射弁85を備えている。ガス噴射弁85は、ガス蓄圧タンク85a、ガス圧縮機(ガスポンプ)85b及び燃料改質器85cに順に接続されている。燃料改質器85cは、燃料導入管85dを介して燃料タンク37cに接続されている。

【0177】

燃料改質器85cは、燃料タンク37cから取り出した燃料を部分酸化させ、一酸化炭素及び水素を主成分とする合成ガス(Syngas)を生成する。ガス圧縮機85bは、駆動信号に応答して燃料改質器85cから供給される合成ガスを圧縮し、圧縮した合成ガスをガス蓄圧タンク85aに供給するようになっている。ガス蓄圧タンク85aは、高圧の合成ガスを貯蔵するようになっている。ガス噴射弁85は、燃焼室25に臨み、高圧の合成ガスをシリンダ21のボア(シリンダボア)の接線方向に噴射するように配設されている。

【0178】

以上の構成により、ガス噴射弁85は、駆動信号に基づいて開弁したとき、シリンダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に高圧の合成ガスを噴射するようになっている。

【0179】

第6実施形態に係る電気制御装置70は、第1実施形態の電気制御装置70とほぼ同様に作動する。但し、図13のステップ1345において使用されるテーブルMapθadd(Accp,NE)は、合成ガス用に適合されている。

【0180】

この第6実施形態に係る内燃機関の制御装置によれば、圧縮行程中期において合成ガスがガス噴射弁85から燃焼室25内に噴射される。これにより、遅くとも燃料分解開始時期よりもクランク角度で20～30度だけ早い時点における混合ガスの温度不均一性が大きくなり、且つ、この時点の温度不均一性は燃料分解開始時期まで持続する。

【0181】

また、合成ガスの噴射がなされた時点からクランク角度で20～30度だけ時間が経過する間に、合成ガスと混合ガス(燃料)との混合が進む。従って、燃料分解開始時期の混合ガスが、燃焼の緩慢化をもたらす有意で大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化せしめられる。その結果、圧力上昇率が過大になることが防止され、騒音(燃焼音)が低減される。

【0182】

更に、第6実施形態においては、高圧の合成ガスがシリンダボアの接線方向に沿って燃焼室25内に噴射されるので、燃焼室25内にスワール流が発生する。従って、混合ガスと混合ガスよりも温度の低いシリンダ21の壁面との間の伝熱が促進されて、シリンダ21の壁面の熱伝達率が高められる。その結果、温度不均一性をより効果的に形成することができる。

【0183】

また、水素は自着火し難い(自着火性が悪い)が、着火すると燃焼が早く進むという特性を有している。他方、一酸化炭素は、ガソリンと同程度に自着火し易い(ガソリンと同

程度の自着火性を有する)が、着火すると燃焼が遅く進むという特性を有している。従って、合成ガスとガソリンの混合ガスは、水素の存在により、合成ガスを含まないガソリン(或いは軽油)の混合ガスよりも着火に時間を要するとともに、一酸化炭素の存在により燃焼速度が低下する。従って、第6実施形態によれば、混合ガスの温度の不均一性のみでなく、混合ガスに合成ガスが混在することによる濃度不均一性により、燃焼期間を効果的に長期化することができる。

【0184】

加えて、第6実施形態は、高圧の合成ガスをそれよりも低圧の燃焼室25内の混合ガス内に噴射するので、合成ガスの断熱膨張効果によって同合成ガスの温度は低下する。従って、混合ガスに対し、より効果的に温度不均一性を付与することができる。

【0185】

更に、このような合成ガス噴射によれば、ガス温度の不均一性がシリンダ21の壁面付近において環状に形成される。他方、燃焼室25の中央部に存在する混合ガスの温度は低下しないから、中央部の混合ガスの着火性は燃焼ガスの噴射を行わない場合に比べて大きく変化しない。従って、着火時期を大きく変化させることなく、燃焼期間の長期化だけを容易に達成することができる。

【0186】

また、第6実施形態は、燃料の温度不均一性を形成するための高圧流体として部分酸化されたガソリン(燃料)を使用しているので、ガソリン以外の流体を貯蔵しておくタンクやボンベを必要とせず、車両の軽量化を図ることができる。

【0187】

(第7実施形態)

次に、本発明の第7実施形態に係る内燃機関の制御装置について説明する。第7実施形態に係る制御装置は、高圧の空気代えて高圧流体として燃料を追加的に噴射する点において第1実施形態の制御装置と相違している。換言すると、この制御装置は、下死点近傍(掃気行程～給気行程の圧縮行程開始前)において噴射すべき燃料量の大部分を噴射して混合ガスを形成するとともに、圧縮行程開始後の圧縮行程中期において噴射すべき燃料量の残余分を噴射することにより、燃焼を緩慢にする。以下、かかる点を中心として説明する。

【0188】

第7実施形態の制御装置は、第1実施形態から空気噴射弁38、空気蓄圧タンク38a、熱交換器38b、空気圧縮機38c及びエアクリーナ38dを省略した構成を備えている。また、電気制御装置70のCPU71は、図13及び図14にそれぞれ代わる図21及び図22に示したルーチンを実行するようになっている。なお、図21及び図22において、既に説明したステップと同一のステップには同一の符合を付し、その詳細な説明を省略する。

【0189】

具体的に説明すると、CPU71は、クランク角度が上死点に一致したときに図21のステップ2100から処理を開始し、ステップ1305～ステップ1330の処理を実行して種々の制御量及び制御時期を決定する。そして、内燃機関10が2サイクル自着火領域R1で運転されているときは、そのままステップ2195に進んで本ルーチンを一旦終了する。また、内燃機関10が2サイクル火花点火運転領域R3で運転されているときは、ステップ1335、ステップ1340及びステップ1350の処理を実行してから本ルーチンを一旦終了する。以上の作動は、第1実施形態の作動と同一である。

【0190】

なお、ステップ1310で使用されるテーブル $\theta_{inj}(Accp, NE)$ は、内燃機関10の運転状態が2サイクル自着火領域R1の軽負荷側(内燃機関の負荷が所定の中負荷閾値より小さい軽負荷の領域)で運転されているとき、燃料噴射時期 θ_{inj} が圧縮行程中に存在するように(噴射期間が圧縮行程中となるように)設定されている。

【0191】

また、テーブル $\theta_{inj}(Accp, NE)$ は、内燃機関 10 の運転状態が 2 サイクル自着火領域 R 1 の中の高負荷側（内燃機関の負荷が前記中負荷閾値より大きく同中負荷閾値よりも大きい所定の高負荷閾値より小さい中負荷の領域）で運転されているとき、及び、内燃機関 10 の運転状態が 2 サイクル自着火領域 R 2（内燃機関の負荷が前記高負荷閾値以上の高負荷の領域）で運転されているとき、燃料噴射時期 θ_{inj} が掃気行程又は給気行程中に存在するように（即ち、噴射開始時期から噴射終了時期までの燃料噴射期間が、圧縮行程開始前の掃気行程から給気行程の間（掃気行程のみ、給気行程のみ、或いは両行程に渡る時期）となるように）設定されている。

【0192】

一方、内燃機関 10 が 2 サイクル自着火領域 R 2 で運転されているとき（内燃機関の負荷が前記高負荷閾値以上の高負荷の領域にあるとき）、CPU 71 はステップ 1340 にて「Yes」と判定してステップ 1345 に進み、追加の燃料噴射開始時期 θ_{add} をテーブル $Map_{\theta_{add}}(Accp, NE)$ から求める。次いで、CPU 71 はステップ 1355 に進み、追加の燃料噴射量をテーブル $Map_{TAU_{add}}(Accp, NE)$ に基づいて決定し、続くステップ 1360 にて先のステップ 1305 において決定した燃料噴射量 TAU から追加の燃料噴射量 TAU_{add} を減じてメイン燃料噴射量 TAU_{main} を求める。その後、CPU 71 はステップ 2195 に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0193】

また、図 22 に示したルーチンは、図 14 に示したルーチンのステップ 1430、ステップ 1460 及びステップ 1465 をそれぞれステップ 2205、ステップ 2210 及びステップ 2215 に置換したルーチンである。即ち、CPU 71 は、図 22 に示したルーチンを繰り返し実行することにより、給気弁 32 及び排気弁 34 の開閉制御を行うとともに、クランク角度が燃料噴射時期 θ_{inj} に一致するとステップ 2205 にて燃料噴射量 TAU_{main} に応じた燃料量の燃料を噴射する。また、CPU 71 は、ステップ 1455、ステップ 2210 及びステップ 2215 の処理を実行することにより、内燃機関 10 が 2 サイクル自着火領域 R 2 で運転されている場合、クランク角度が追加の燃料噴射時期 θ_{add} に一致したタイミングにて追加の燃料噴射量 TAU_{add} に応じた燃料量の燃料を追加的に噴射する。

【0194】

このように、第 7 実施形態に係る内燃機関の制御装置によれば、内燃機関 10 が 2 サイクル自着火領域 R 2 で運転されている場合、噴射すべき燃料量（機関に要求される燃料量） TAU の大部分である TAU_{main} の燃料量の燃料が下死点近傍の燃料噴射時期 θ_{inj} にて主たる噴射として噴射され、噴射すべき燃料量 TAU の残余分である TAU_{add} の燃料量の燃料が圧縮行程中期の燃料噴射時期 θ_{add} にて追加的に噴射される。

【0195】

従って、主たる噴射（メイン噴射）により形成された均質混合ガスは、追加的な噴射（サブ噴射）により噴射された燃料の大きな気化熱（潜熱）と比熱とにより部分的に冷却される。これにより、遅くとも燃料分解開始時期よりもクランク角度で 20 ~ 30 度早い時点における混合ガスの温度不均一性が大きくなり、且つ、この時点の温度不均一性は燃料分解開始時期まで持続する。

【0196】

従って、燃料分解開始時期の混合ガスが、燃焼の緩慢化をもたらす有意で大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化せしめられる。その結果、圧力上昇率が過大になることが防止され、騒音（燃焼音）が低減される。

【0197】

また、第 7 実施形態に係る内燃機関の制御装置によれば、自着火運転領域であって前記内燃機関の負荷が前記高負荷閾値より小さい中負荷閾値以上の中負荷であるとき、機関に要求される燃料量 TAU の全部が、前記掃気行程中、前記給気行程中及び同掃気行程から同給気行程に及ぶ期間中（圧縮行程開始前の期間）の何れかの時期においてインジェクタ 37 から噴射される。

【0198】

これによれば、中負荷域において均質混合ガスが得られるので、安定した自着火燃焼を得ることができる。

【0199】

更に、自着火運転領域であって前記内燃機関の負荷が前記中負荷閾値より小さい軽負荷であるとき、前記機関に要求される燃料量の全部が前記圧縮行程中の時期においてインジェクタ37から噴射される。

【0200】

これによれば、弱成層混合ガスが得られるので、軽負荷域であって燃料が少ない場合でも、安定した自着火燃焼を得ることができる。

【0201】

また、第7実施形態は、既存のインジェクタ37から追加的（二次的）な燃料噴射を行うことにより混合ガスに温度不均一性を追加しているので、燃料以外の流体を必要としない。また、燃料以外の流体を噴射するためのインジェクタ37以外の噴射弁や、流体を圧縮する燃料ポンプ37b以外のポンプ等は不要である。従って、システム全体を簡素化でき、軽量化及びコストダウンを図ることができる。

【0202】

なお、図21のステップ1305、1310、1345、1355及び1360、並びに、図22のステップステップ1425、2205、2210及び2215等は、燃料噴射制御手段を構成している。

【0203】

以上説明したように、本発明による各実施形態によれば、燃料分解開始時点において温度不均一性が大きな混合ガスが形成されるので、自着火燃焼が緩慢となり、燃焼音を低減することができる。

【0204】

なお、これらの実施形態において、図13のステップ1345、図14のステップ1460及びステップ1465、並びに上述した高圧流体噴射手段（例えば、第1実施形態における空気噴射手段）は、「混合ガスの圧縮行程中に生じるガソリン燃料の分解開始時点での同混合ガスの温度の不均一性が、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することのみにより生ずる温度の不均一性より大きくなるように、同燃料の分解開始時点よりも前の同圧縮行程中の所定の時期にて同混合ガスの温度の不均一性を増大させるように同混合ガスに作用する温度不均一性追加手段」を構成している。また、図21のステップ1345及びステップ1355並びに図22のステップ2210及びステップ2215と、上述した燃料噴射手段も、噴射する高圧流体として燃料を使用する温度不均一性追加手段を構成している。

【0205】

本発明は上記各実施形態に限定されることはなく、本発明の範囲内において種々の変形例を採用することができる。例えば、上記各実施形態においては、高圧流体噴射開始時期（例えば、第1実施形態における空気噴射開始時期 θ_{add} ）が圧縮行程の中期に存在するよう設定されていたが、高圧流体噴射開始時点を圧縮行程初期の終了直前とし、高圧流体噴射終了時点を圧縮行程の中期となるよう設定してもよい。即ち、高圧空気などの高圧流体の噴射期間の一部が少なくとも前記圧縮行程中期に存在していればよい。もちろん、高圧流体噴射開始時期及び高圧流体噴射終了時期の両時期が圧縮行程中期に存在していることが好ましい。

【0206】

また、温度不均一性は、筒内の最高温度と最低温度の温度差として考えることもできる。この場合、その温度差は、標準偏差で20乃至30K程度であることが好ましい。更に、上記各実施形態は、2サイクル内燃機関の制御装置であったが、4サイクル内燃機関（4サイクル自着火式内燃機関及び4サイクル火花点火式内燃機関）にも当然に適用することができる。更に、予混合圧縮自着火運転を行っている場合に、火花点火を補助的に用い

てもよい。

【0207】

なお、例えば、上記第5実施形態に係る制御装置は、燃料をシリンダとピストンにより構成される燃焼室に噴射する燃料噴射手段と、前記燃焼室内に臨む火花点火手段と、前記燃焼室内に高圧流体を噴射する高圧流体（高圧水）噴射手段と、を備えるとともに、

所定運転領域である自着火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程の開始前までに同燃焼室に形成し、同混合ガスを同圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転モードと、前記自着火運転領域以外の運転領域である火花点火運転領域において少なくとも空気と前記燃料噴射手段により噴射された燃料とを含む混合ガスを前記圧縮行程にて圧縮した後に前記火花点火手段によって火花点火させて燃焼させる火花点火運転モードと、の何れかのモードにて運転される内燃機関に適用される内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるときと前記火花点火運転モードにあるときとにおいて、クランク角が互いに異なる所定のクランク角となつたとき、前記高圧流体噴射手段から前記高圧流体を噴射する高圧流体噴射制御手段を備えた内燃機関の制御装置と云うこともできる。つまり、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるときは水噴射開始時期 θ_{add} にて、前記内燃機関の運転モードが火花点火運転モードにあるときは水噴射開始時期 θ_{addk} (θ_{add} は θ_{addk} と異なる。) にて高圧流体としての高圧水を噴射する。

【0208】

そして、この高圧流体は、第5実施形態の水に限定されず、空気、水素、一酸化炭素、前記燃焼室から排出された燃焼ガスを圧縮した燃焼ガス、アルコールを含む液体燃料、前記燃料を部分酸化することにより得られる一酸化炭素と水素とを含む合成ガス及び前記燃料のうちの何れか一つを含む流体とすることもできる。

【0209】

これによれば、前記予混合圧縮自着火運転モードにあるときと前記火花点火運転モードにあるときとにおいて、互いに異なるタイミングにて高圧流体が噴射される。例えば、内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにあるとき、圧縮行程中であつて前記混合ガス中の燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において前記高圧流体が噴射せしめられる。これにより、燃焼の実質的な開始時点において混合気が大きな温度不均一性を有することになるので、燃焼が緩慢化され、燃焼期間が長期化する。その結果、予混合圧縮自着火運転モードにおける燃焼室内の圧力上昇率が過大になることが防止され、燃焼音が低減される。

【0210】

また、例えば、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにあるとき、圧縮行程前の所定の時期において前記流体が噴射される。これにより、混合ガス全体が冷却される。この結果、空気の充填効率を向上することができるとともに、火花点火運転時のノッキングの発生を抑制することができる。

【0211】

このように構成された内燃機関の制御装置によれば、高圧流体噴射手段を有効に活用し、運転モードに適したタイミングにて高圧流体を噴射する。従つて、内燃機関の燃費を改善したり、騒音等を低減することができる。

【0212】

この場合、第5実施形態の説明において述べたように、前記高圧流体噴射手段は、前記内燃機関の運転モードが前記予混合圧縮自着火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第1の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧流体を噴射するように構成されることが望ましい。

【0213】

これによれば、高圧流体は燃焼音が大きく或いはノックингに類似の現象が発生し易い加速時などにのみ噴射される。従って、使用される高圧流体の量を低減したり、流体を加圧して高圧流体とするのに必要なエネルギーの消費量を低減しながら、燃焼音等を抑制することができる。

【0214】

更に、この場合、前記高圧水噴射制御手段は、前記内燃機関の運転モードが前記火花点火運転モードにある場合、同内燃機関の負荷が第2の高負荷閾値以上の高負荷であるときにのみ前記高圧水を噴射するように構成されることが好適である。

【0215】

これによれば、充填効率の増大が必要であり、且つ、ノックингが発生し易い高負荷時のみ高圧流体が噴射されるので、高圧流体の消費量を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0216】

【図1】クランク角度に対する燃焼室内の混合ガスの圧力の変化を示すグラフである。

【図2】図1に示した各曲線に対応した混合ガスの温度分布を示すグラフである。

【図3】圧縮行程における燃焼反応成分の濃度分布の変化を模式的に示した図である。

【図4】圧縮行程における混合ガスの温度分布の変化を模式的に示した図である。

【図5】クランク角度に対する燃焼室内の圧力及び投入熱量に対する熱発生率の変化を示すグラフである。

【図6】圧縮行程中においてガスが混合される度合い（ガスの混合度合）の変化を示したグラフである。

【図7】圧縮行程中における燃焼反応速度（化学反応速度）の度合の変化を示したグラフである。

【図8】燃料分解開始時期における燃焼室内の混合ガスの温度分布（筒内最高温度と筒内最低温度との差）に対する燃焼期間の変化を示したグラフである。

【図9】本発明の第1実施形態に係る内燃機関の制御装置を2サイクル予混合圧縮自着火式内燃機関に適用したシステムの概略図である。

【図10】図9に示したシステムの燃料噴射手段及び高圧空気噴射手段を模式的に示した図である。

【図11】図9に示したCPUが実行する領域判定ルーチンを表すフローチャートである。

【図12】図9に示したCPUが図11のフローチャートを実行する際に参照する運転領域マップである。

【図13】図9に示したCPUが実行する内燃機関の制御量及び制御タイミングを決定するためのルーチンを表すフローチャートである。

【図14】図9に示したCPUが実行する駆動制御ルーチンを表すフローチャートである。

【図15】第1実施形態に係る内燃機関のバルブタイミング、燃料噴射時期及び空気噴射時期等を概念的に示した説明図である。

【図16】本発明による第2実施形態が備える燃料噴射手段及び高圧ガス（水素ガス）噴射手段を模式的に示した図である。

【図17】本発明による第3実施形態が備える燃料噴射手段及び高圧ガス（燃焼ガス）噴射手段を模式的に示した図である。

【図18】本発明による第4実施形態が備える燃料噴射手段及び高圧水噴射手段を模式的に示した図である。

【図19】本発明による第5実施形態が備える燃料噴射手段及び高圧液体燃料噴射手段を模式的に示した図である。

【図20】本発明による第6実施形態が備える燃料噴射手段及び高圧合成ガス噴射手

段を模式的に示した図である。

【図21】本発明による第7実施形態に係る内燃機関の制御装置のCPUが実行する同内燃機関の制御量及び制御タイミングを決定するためのルーチンを表すフローチャートである。

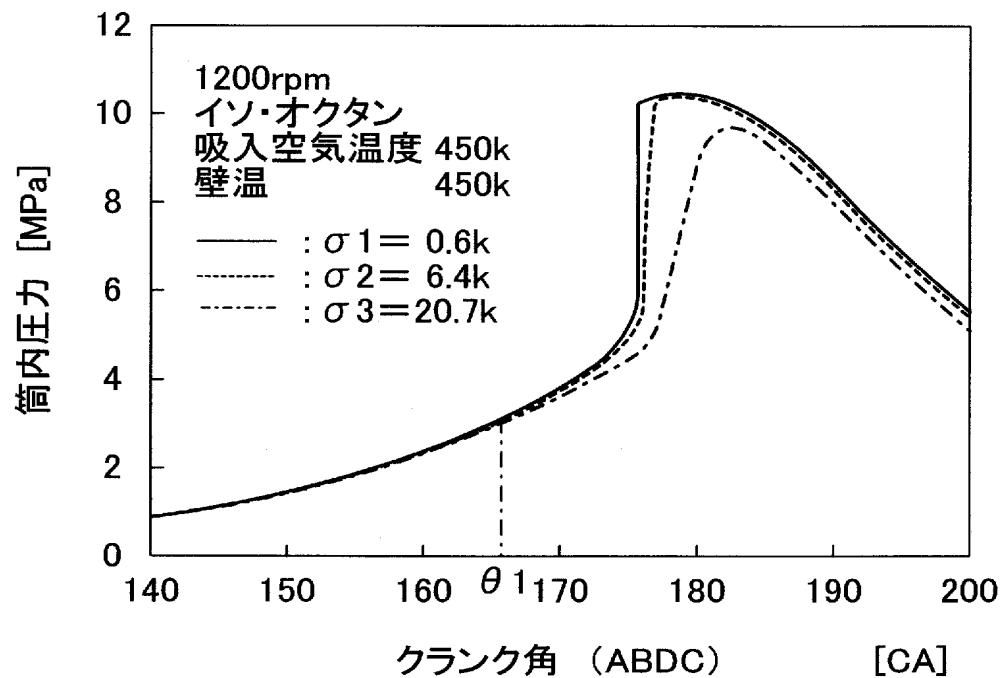
【図22】本発明による第7実施形態に係る内燃機関の制御装置のCPUが実行する駆動制御ルーチンを表すフローチャートである。

【符号の説明】

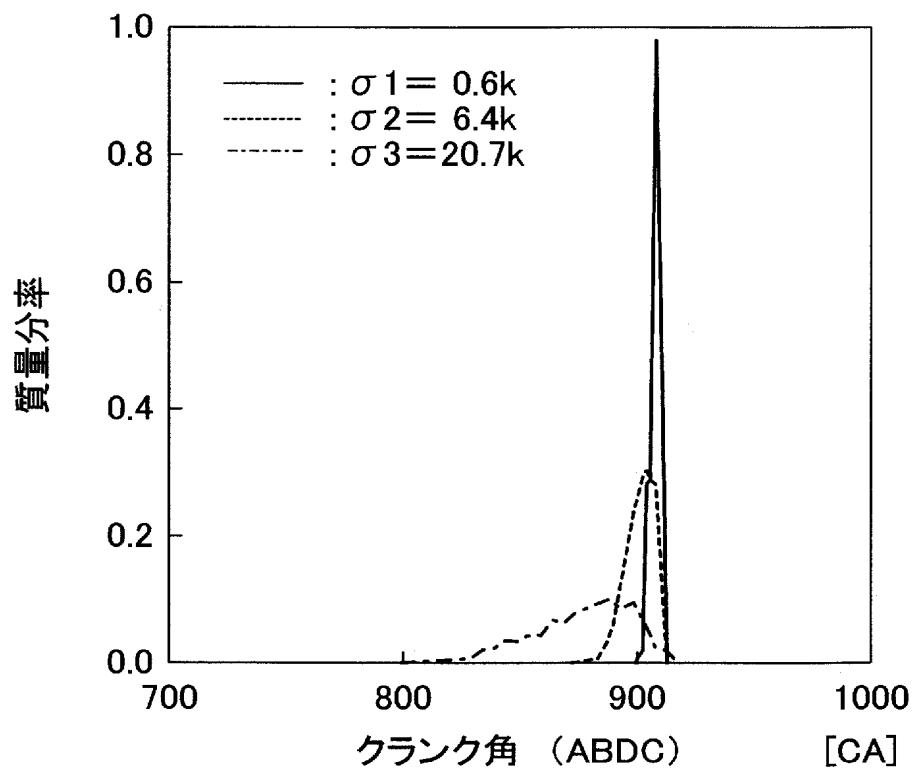
【0217】

10…予混合圧縮自着火式内燃機関、21…シリンド、22…ピストン、25…燃焼室、31…給気ポート、32…給気弁、32a…給気弁駆動機構、33…排気ポート、34…排気弁、34a…排気弁駆動機構、38…空気噴射弁、35…点火プラグ、37…インジェクタ、37a…蓄圧室、37b…燃料ポンプ、41…給気管、43…給気ダクト、46…インタクーラ、52a…過給圧調整弁、63…筒内圧センサ、70…電気制御装置、81…ガス噴射弁、82…ガス噴射弁、83…水噴射弁、84…アルコール噴射弁、85…ガス噴射弁、91…ターボチャージャ。

【書類名】図面
【図 1】

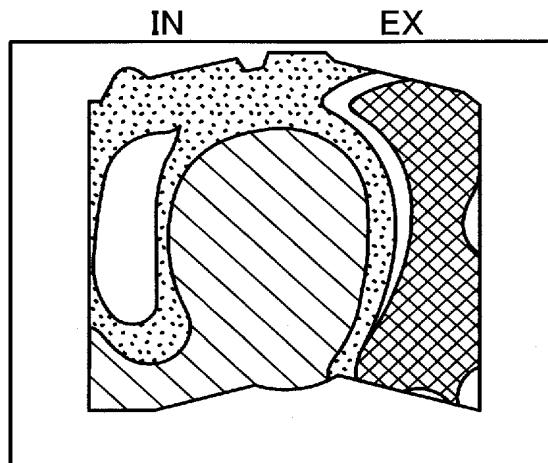
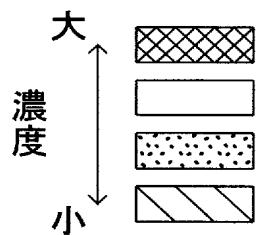


【図 2】

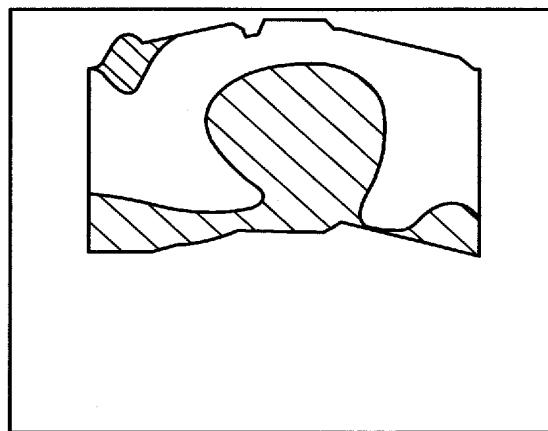


【図 3】

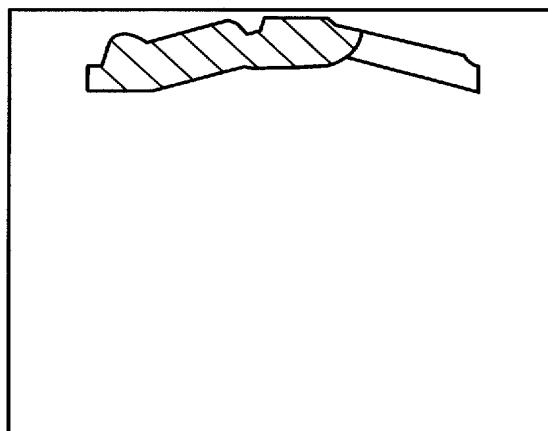
(A) 壓縮初期
(BTDC 130)



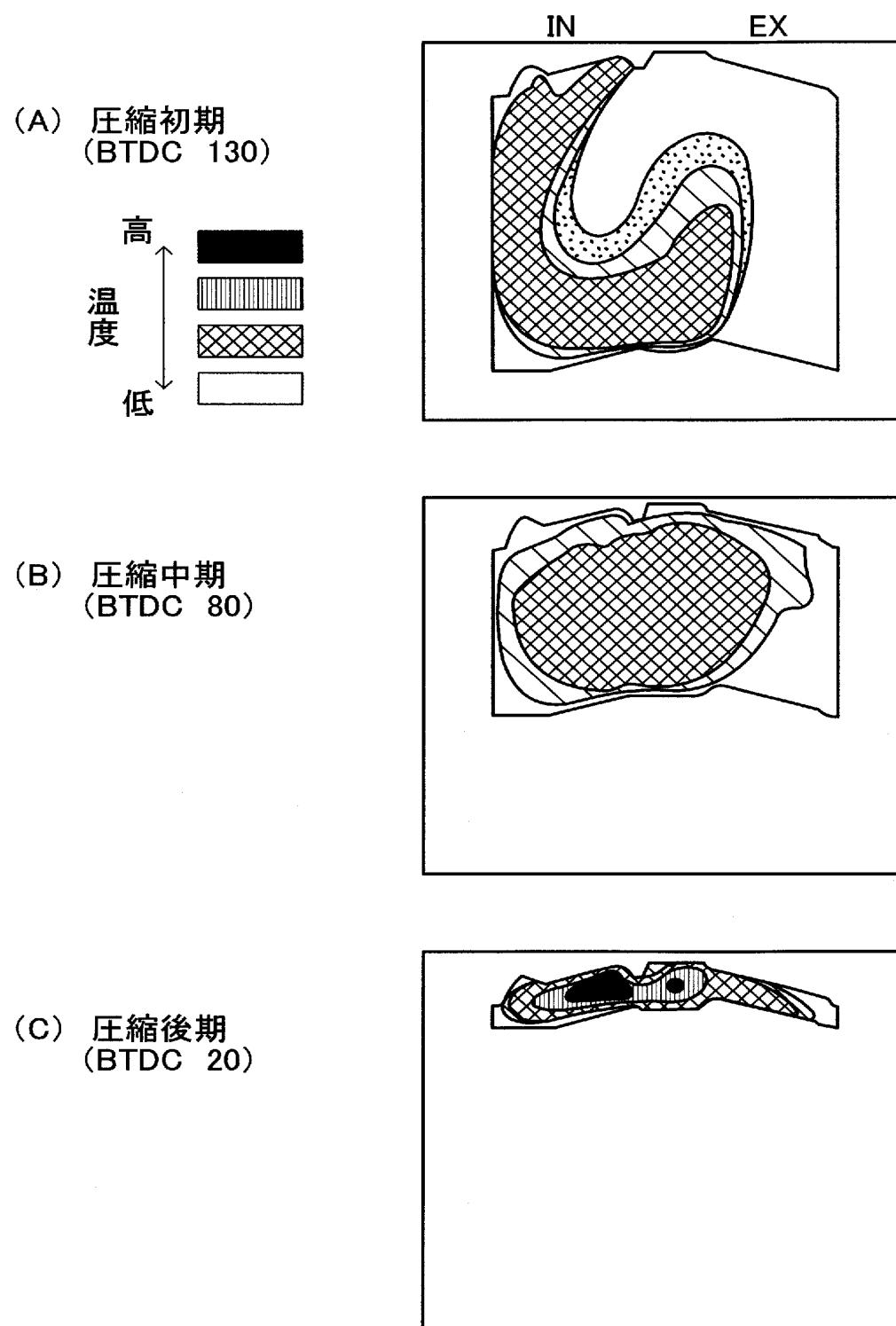
(B) 壓縮中期
(BTDC 80)



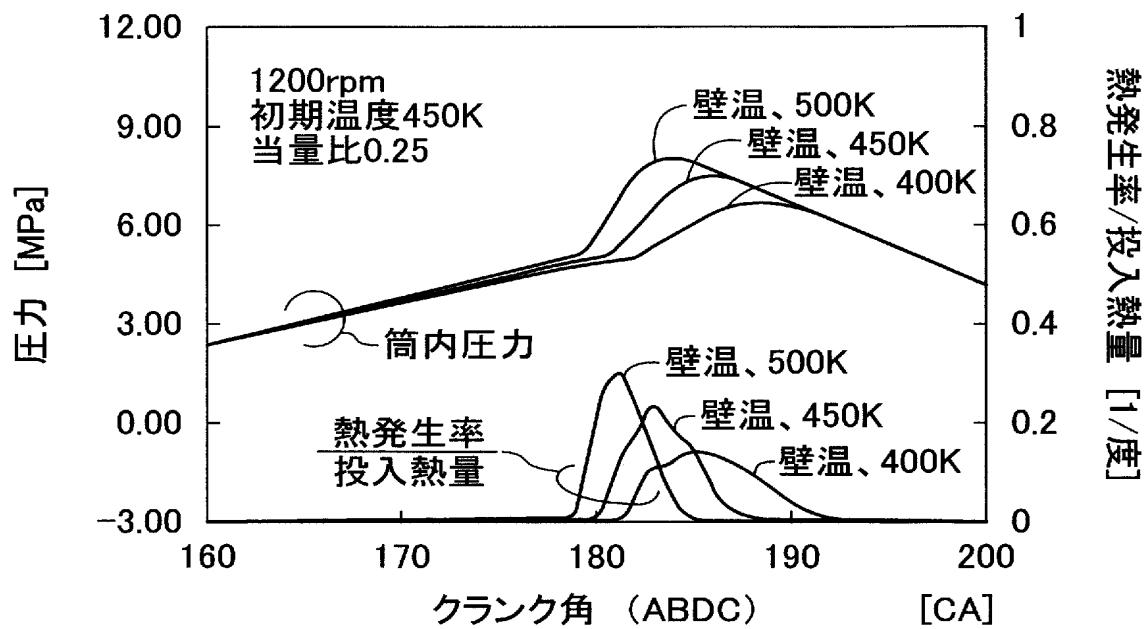
(C) 壓縮後期
(BTDC 20)



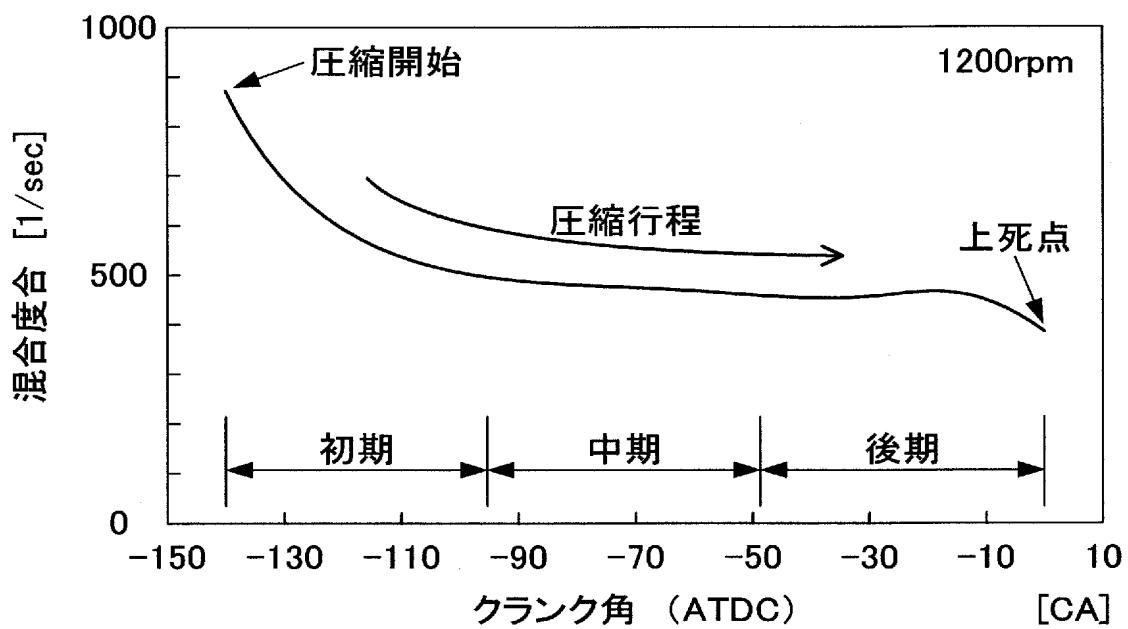
【図 4】



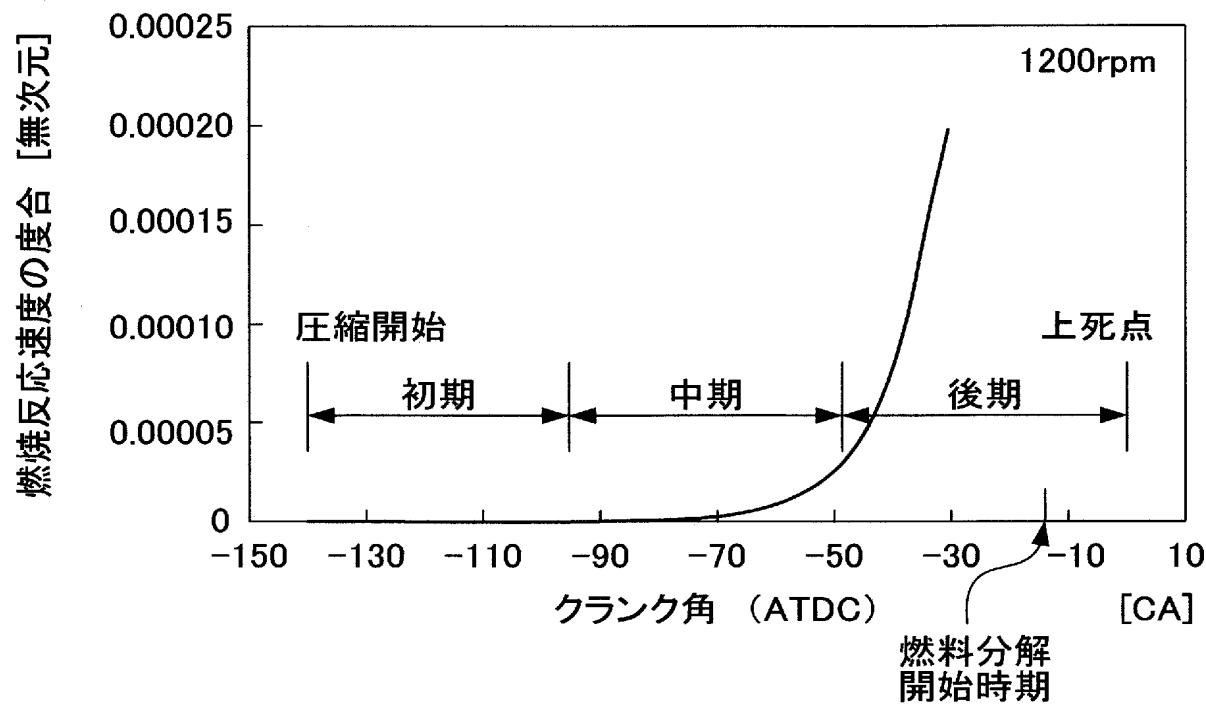
【図 5】



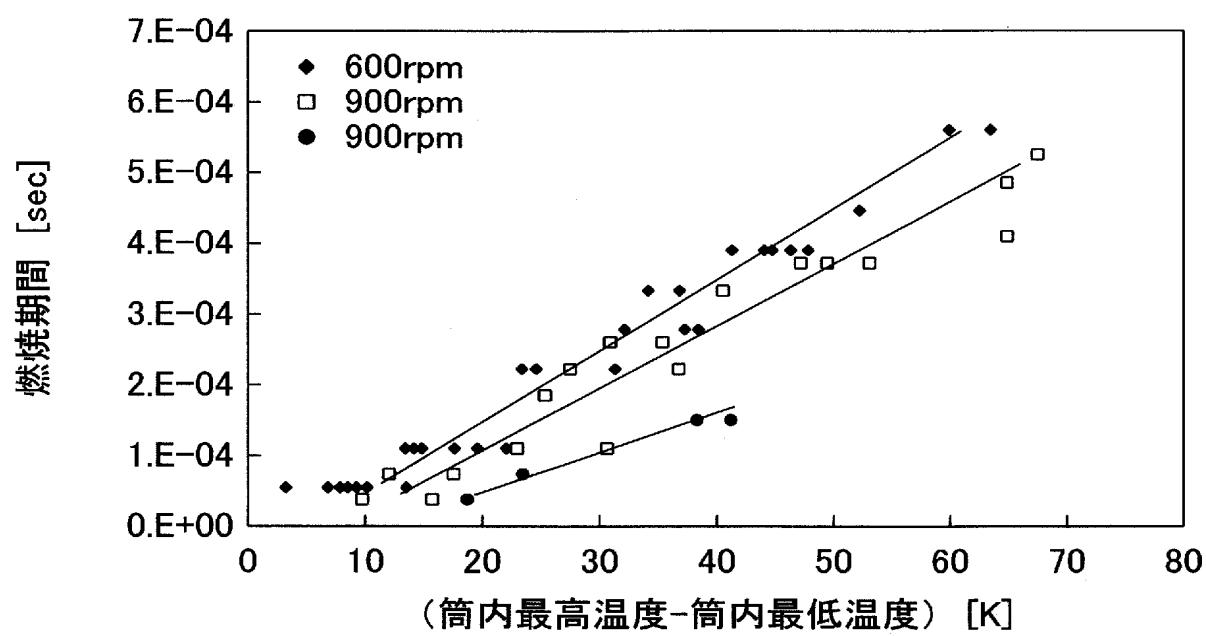
【図 6】



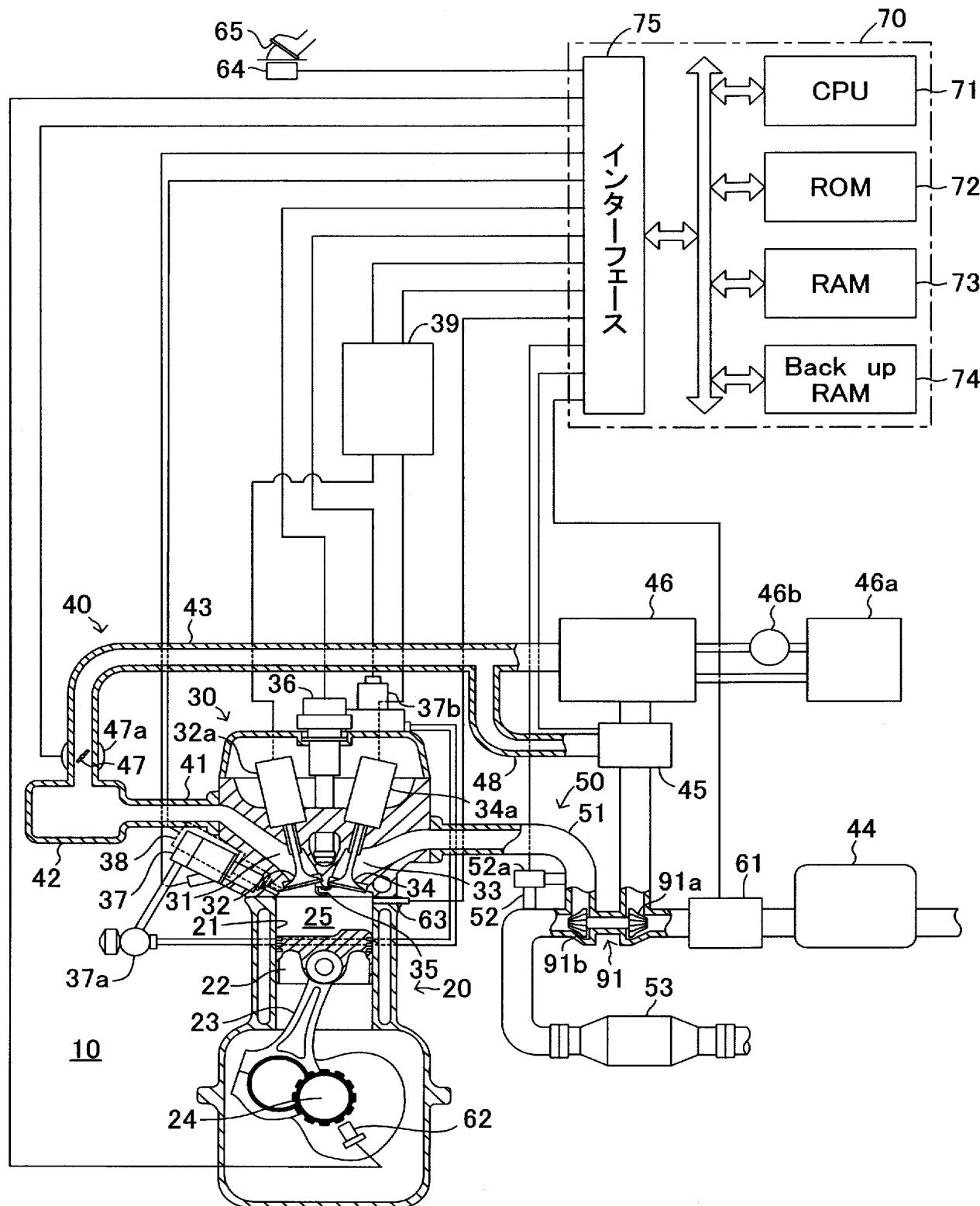
【図 7】



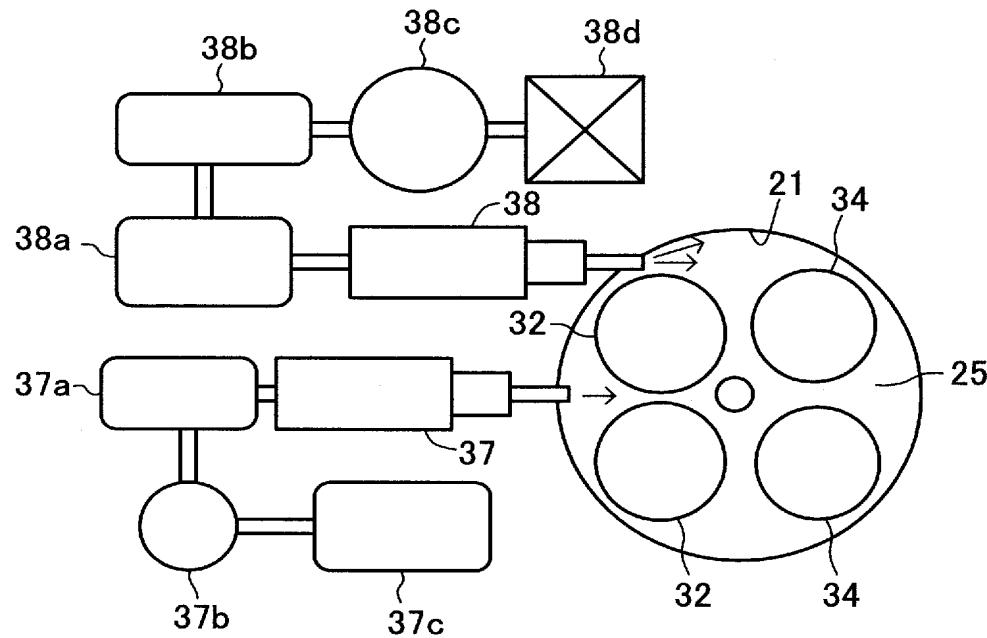
【図 8】



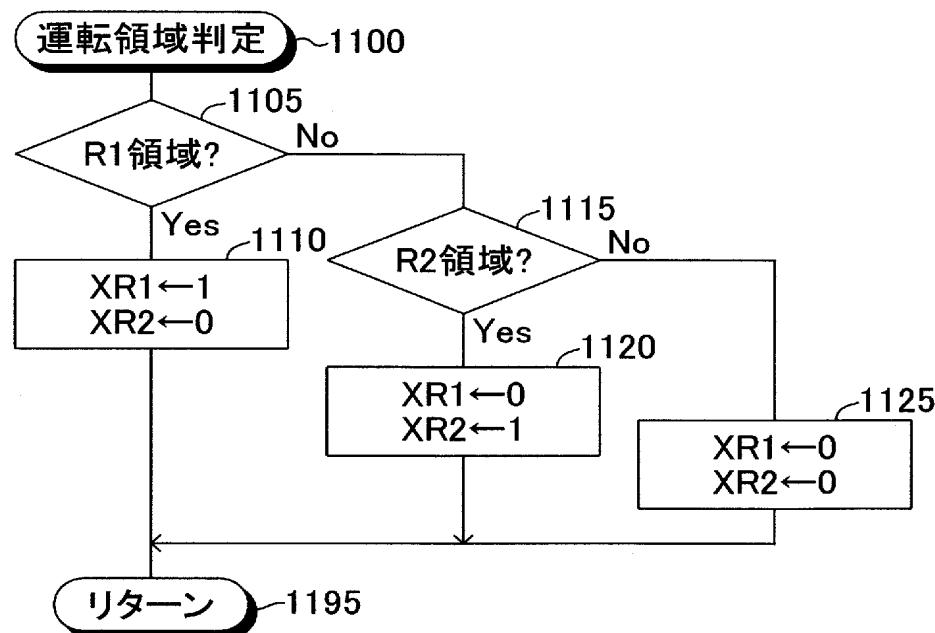
【図 9】



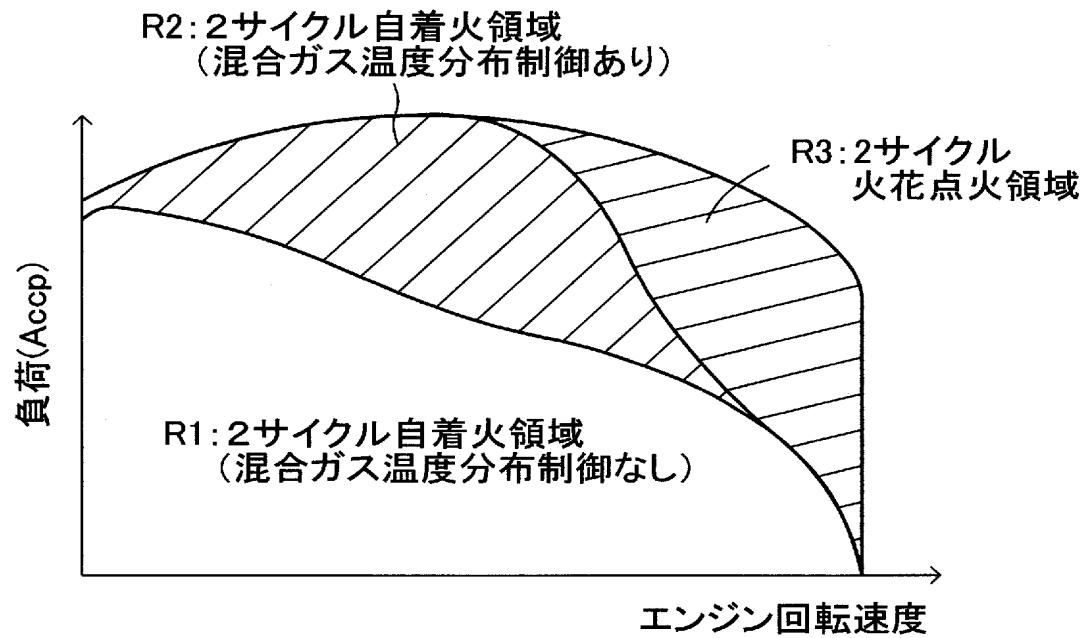
【図 1 0】



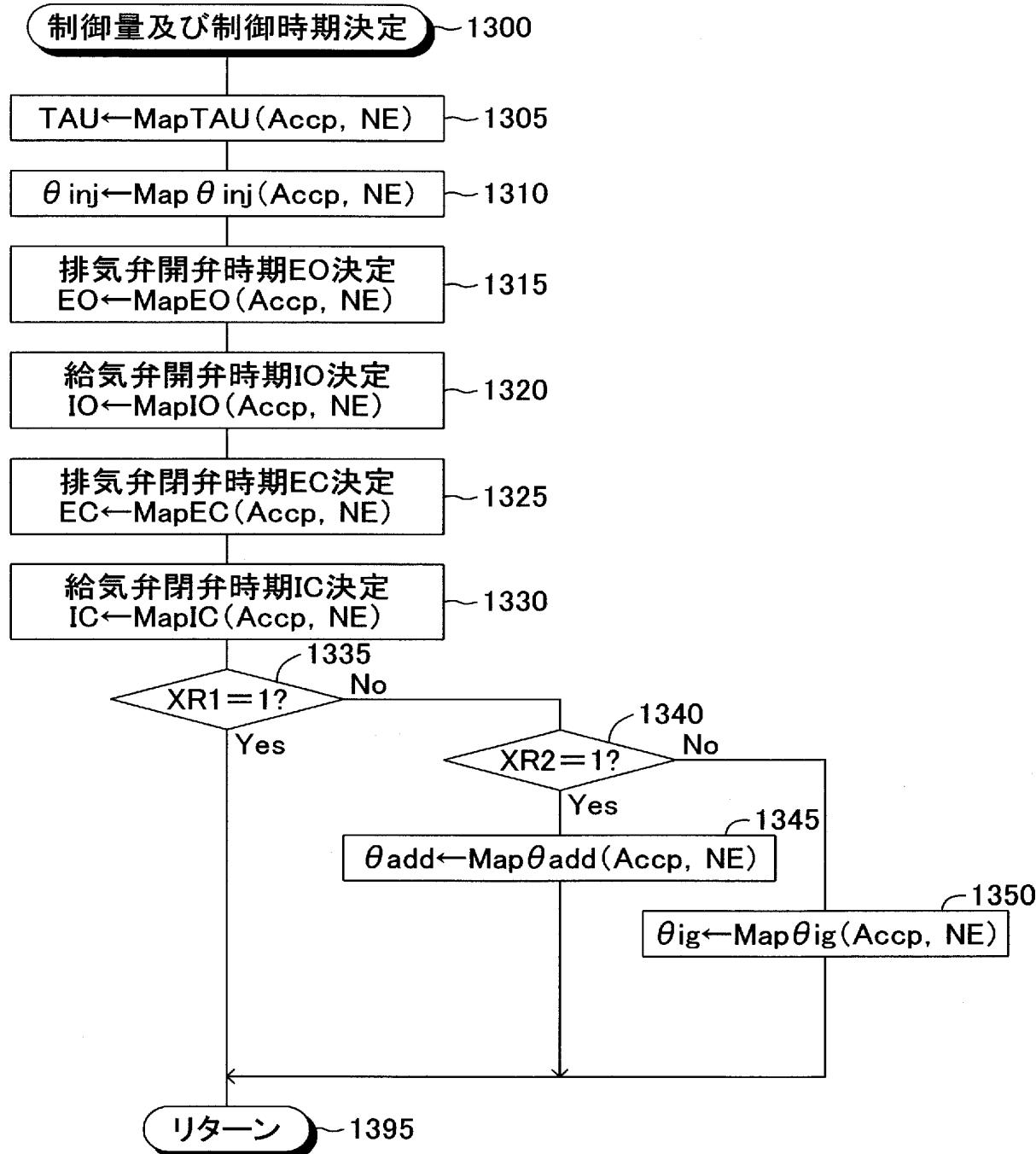
【図 1 1】



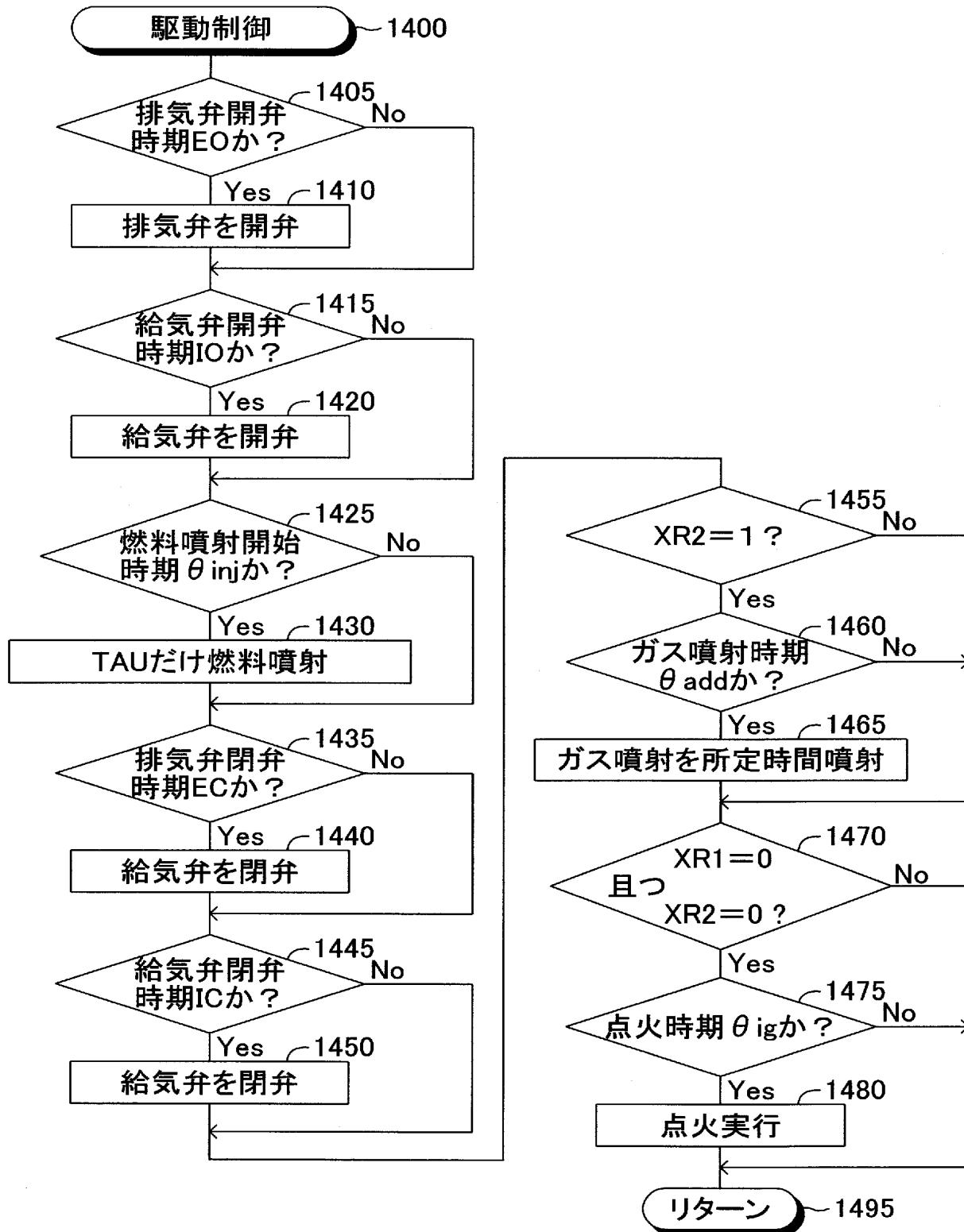
【図 1 2】



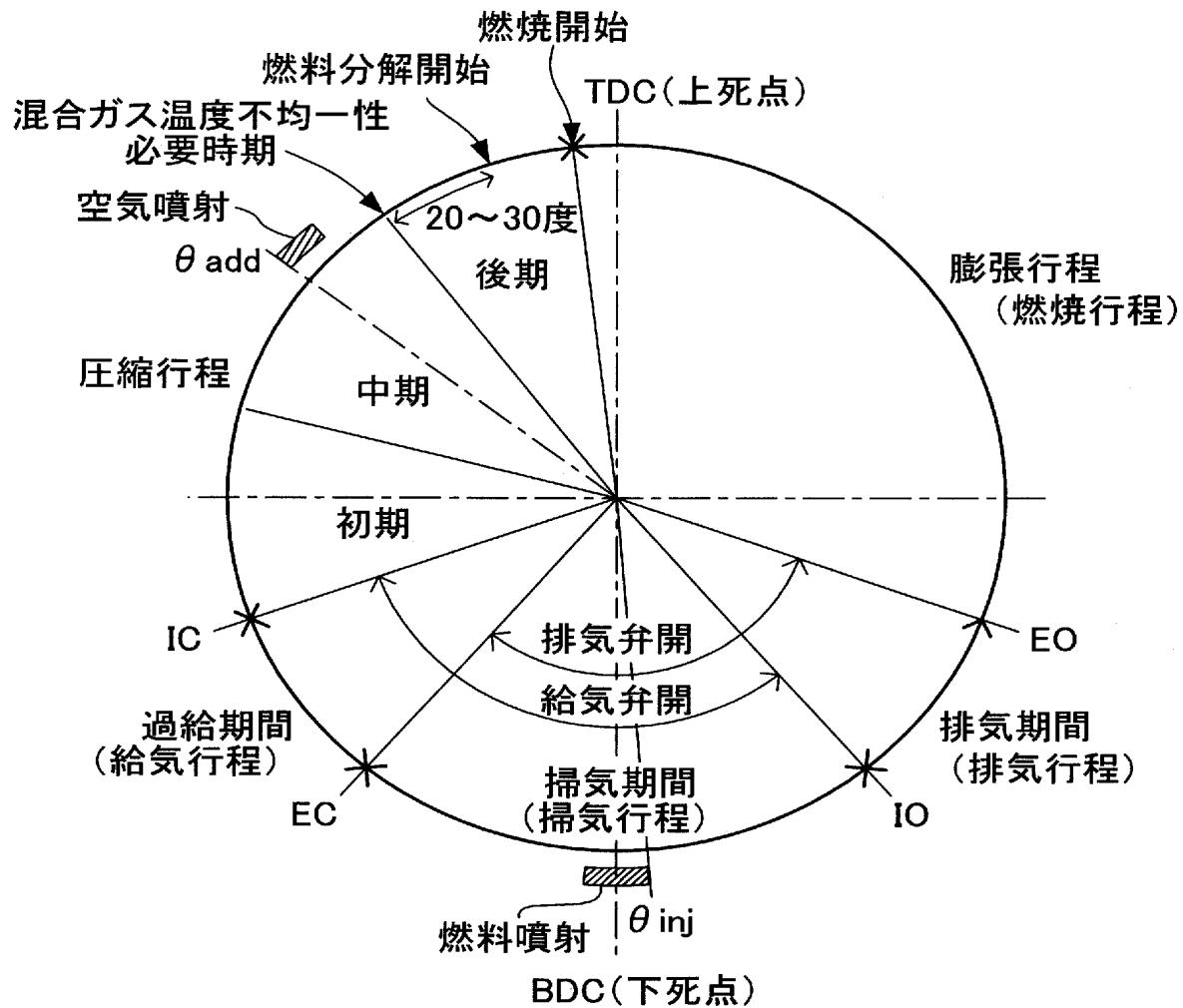
【図 1 3】



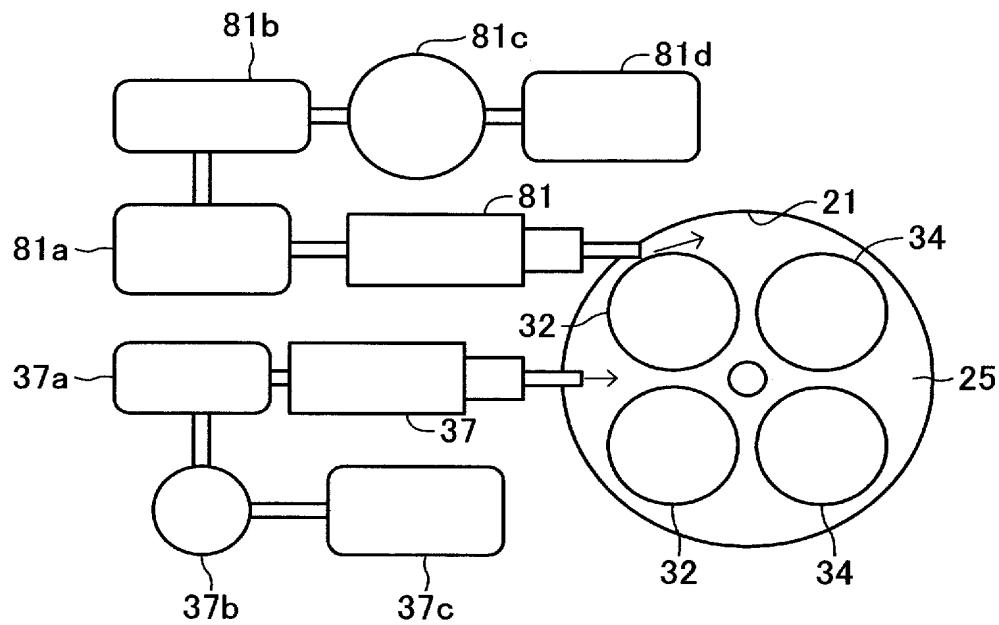
【図 1 4】



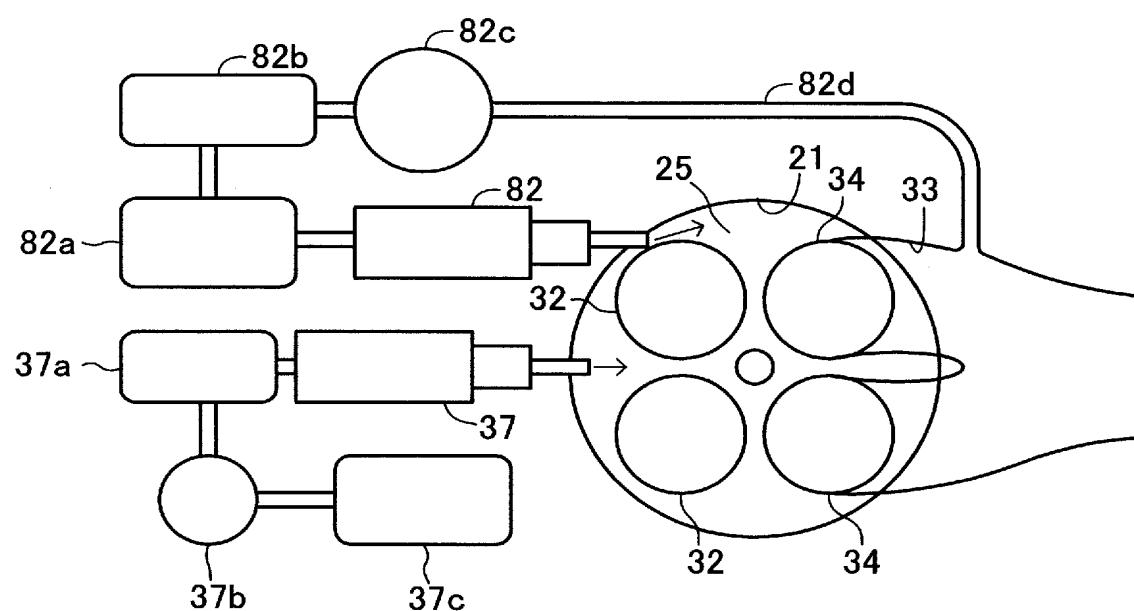
【図 1 5】



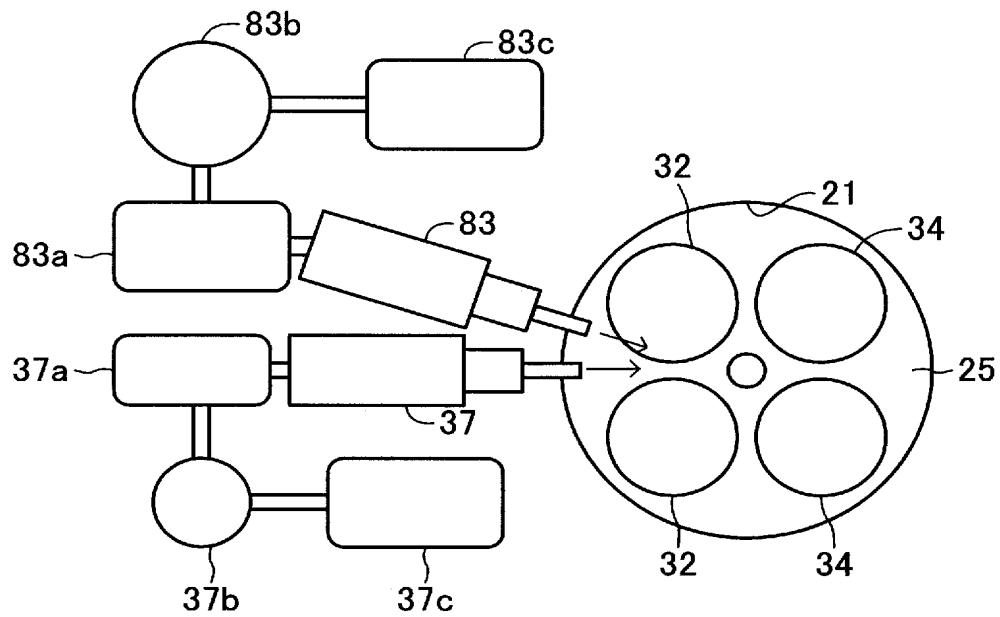
【図 1 6】



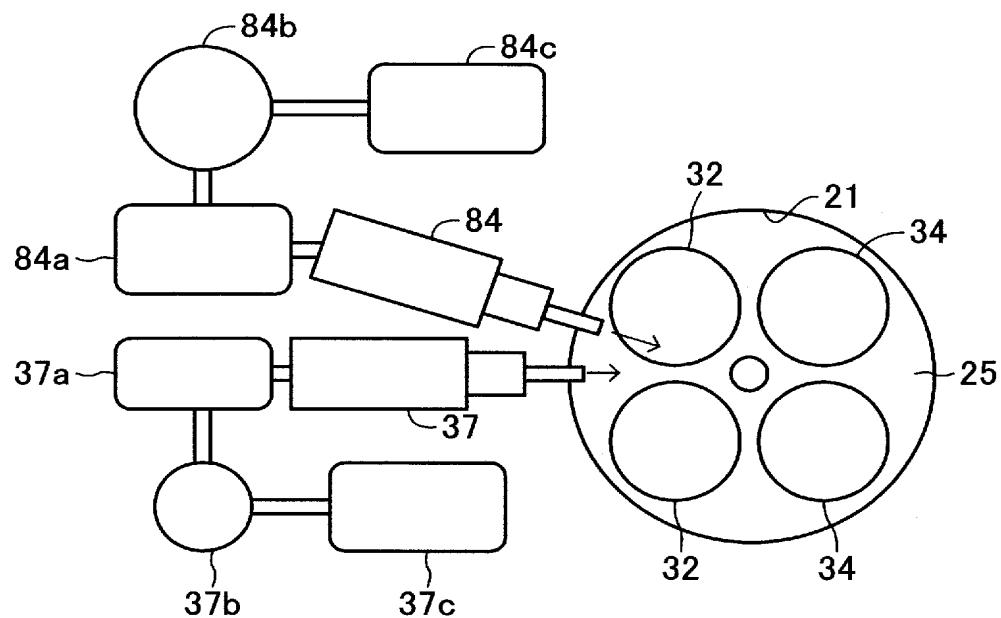
【図 1 7】



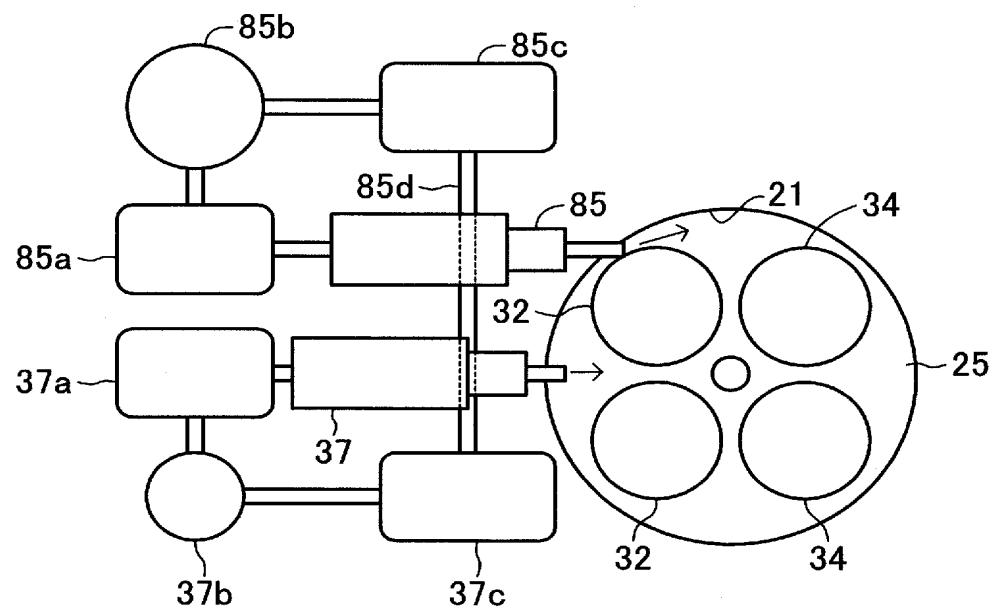
【図 1 8】



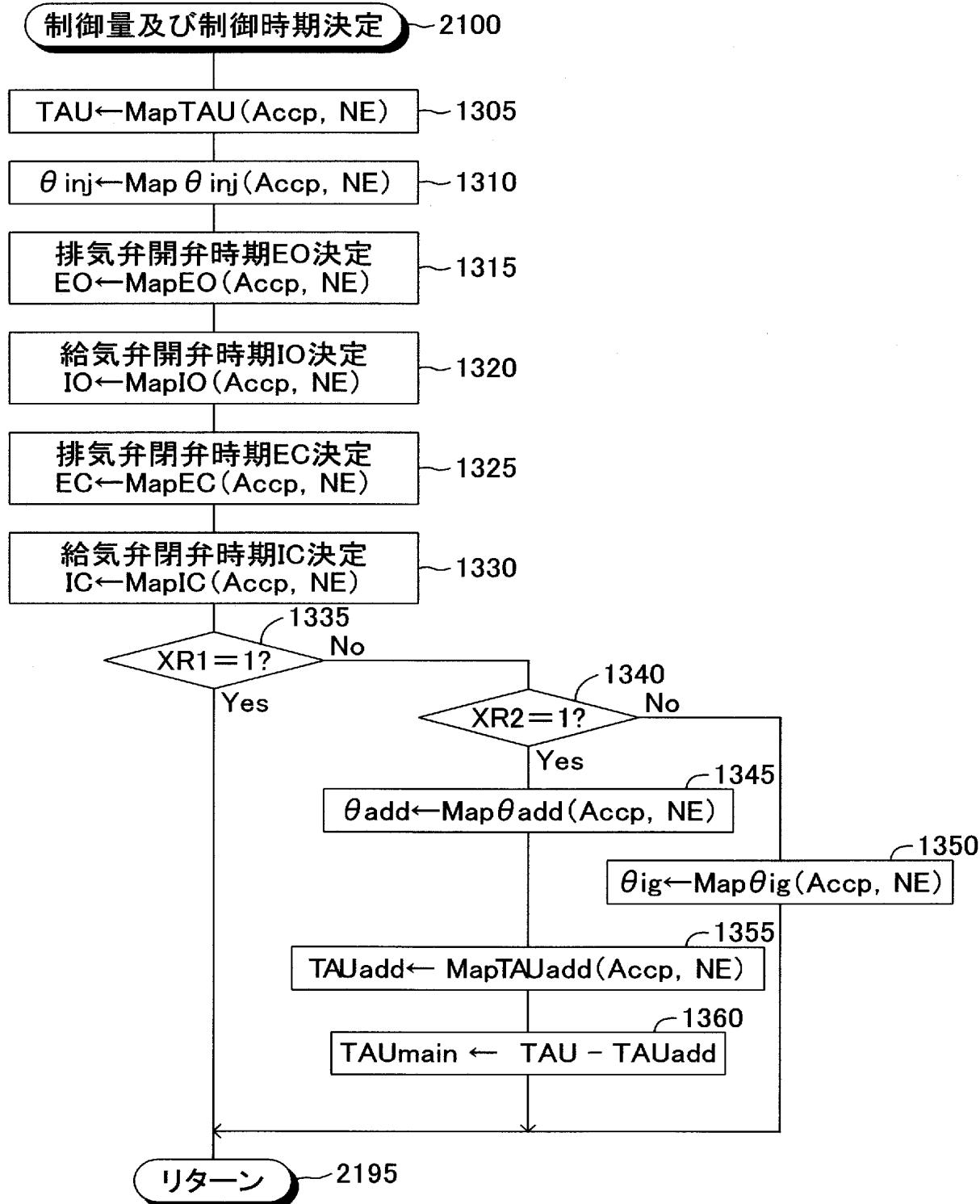
【図 1 9】



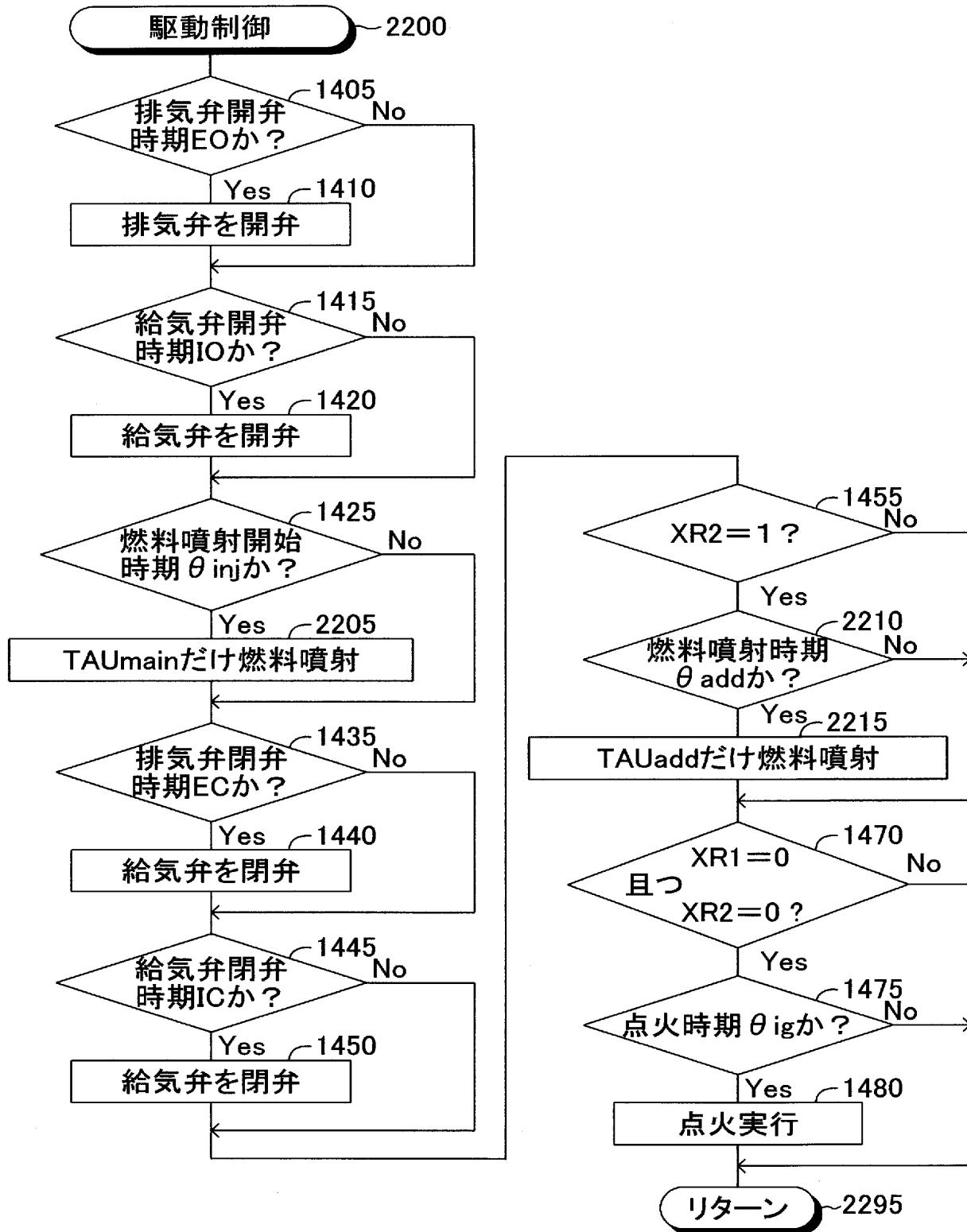
【図 20】



【図 2-1】



【図22】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 自着火に到る直前の燃料分解開始時点における混合ガスの温度不均一性を増大させることにより、燃焼を緩慢化し、燃焼音の低減を図ること。

【解決手段】 電気制御装置 70 は、空気とインジェクタ 37 から噴射される燃料とを含む混合ガスを燃焼室 25 に形成し、その混合ガスを圧縮行程にて圧縮することにより自着火させて燃焼させる予混合圧縮自着火運転が可能な内燃機関 10 に適用される。電気制御装置は、圧縮行程中であって燃料の分解開始時点よりも前の所定の時期において混合ガスの温度の不均一性を増大させるように、空気などの高圧流体を空気噴射弁 38 から混合気に対して噴射する。これにより、燃料の分解開始時点における混合ガスの温度の不均一性が、混合ガスを圧縮行程にて圧縮することのみにより生ずる温度の不均一性より大きくなる。その結果、燃焼が緩慢化され、燃焼音が低減する。

【選択図】 図 9

出願人履歴

0 0 0 0 0 3 2 0 7

19900827

新規登録

愛知県豊田市トヨタ町1番地

トヨタ自動車株式会社